پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۵۴ ، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱
ص. ۱۳۶۲-۱۳۴۱
DOI:10.22059/JHGR.2021.325951.1008329

ارائه چارچوبی تحلیلی برای سنجش الگوی شبکه معابر: مقایسه تطبیقی محدوده‌های خود سازمان‌یافته شهر تهران

آتوسا آفاق‌پور[۱] – پژوهشگر دکتری برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده شهرسازی، دانشگاه تهران، ایران
سیامک بدر – دکتری برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، گروه شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷**

چکیده

فرم شهری نمایانگر ویژگی‌های کالبدی شهر و فرایندهای غیر کالبدی (اقتصادی، اجتماعی و سیاسی) نمود یافته در کالبد است و شبکه معابر یکی از اجزای مهم و پایدار آن محسوب می‌شود. این مقاله درصدد آن است تا با ارائه یک چارچوب تحلیلی و معرفی شاخص‌های مناسبی که وجوه مختلفی از الگوهای شبکه معابر را هدف قرار می‌دهند، امکان بازشناسی روش‌مند این الگوها را فراهم آورد و در این فرایند، سه بُعد پیکره‌بندی، ترکیب‌بندی و ساخت (که به‌این‌ترتیب با شاخص‌های توپولوژیک، ریخت‌شناسی و متریک متناظرند) را به کار گرفته است. نوآوری پژوهش را نیز می‌توان در دو جنبه به‌کارگیری رهیافت شبکه در مدل‌سازی (در مقابل توصیفات کیفیِ متداول در پژوهش‌های داخلی) و تولید چارچوب تحلیلی با انباشت مجموعه شاخص‌های متفاوت و متناسب با اطلاعات در دسترس، برشمرد. پژوهش پیشرو به تحلیل الگوهای شبکه معابر (که به دودسته خود سازمان‌یافته و از پیش طراحی‌شده تقسیم‌بندی می‌شود) در محدوده‌های خود سازمان‌یافته که بدون هیچ طرح از پیش اندیشیده شده‌ای طی زمان به وجود آمده‌اند (و عموماً بی‌نظم، تودرتو و پرپیچ‌وخم توصیف می‌شوند) می‌پردازد و ویژگی‌ها و قاعده‌مندی‌های مشترک حاکم بر آن‌ها و وجوه تشابه و تفاوت آن‌ها را ردیابی می‌نماید. به‌کارگیری چارچوب تحلیلی در پانزده محدوده مطالعاتی خود سازمان‌یافته در شهر تهران نشانگر آن است که نه‌تنها الگوی پیکره‌بندی شبکه معابر در تمامی محدوده‌ها با یکدیگر مشابه و از نوع T-tree است، بلکه تحلیل‌های تری پلات انجام‌شده هم مؤید تشابه الگوی ترکیب‌بندی و ساخت شبکه معابر در این محدوده‌ها علی‌رغم وجود برخی تفاوت‌ها است که از وجود نظمی مشابه اما پیچیده و پنهان در آن‌ها حکایت دارد.

واژگان کلیدی: الگوی شبکه معابر، پیکره‌بندی، ریخت‌شناسی، ساخت، خود سازمان‌یافته.

۱ . نویسنده مسئول
Email: a.afaghpour@ut.ac.ir

مقدمه

فرم شهری نمایانگر ویژگی‌های کالبدی شهر و فرایندهای غیر کالبدی (اقتصادی، اجتماعی و سیاسی) نمود یافته در کالبد است که می‌توان آن را با مجموعه‌ای از مقوله‌ها چون کاربری زمین، شبکه معابر، تراکم، مسکن و طراحی شهری[۱] تبیین نمود (دمپسی و همکاران، ۲۰۱۰). دراین‌بین، شبکه معابر شهری یکی از اجزای مهم و پایدار فرم شهری است (مارشال، ۲۰۰۶؛ ساوت‌ورث و بن‌ژوزف، ۲۰۰۳) زیرا از یک‌سو، مشخصه‌های شبکه معابر از اصلی‌ترین عناصر تصویر ذهنی شهروندان محسوب می‌شود که بر انتخاب‌های حرکتی و هدایت آنان در مقیاس شهر و محله موثر است و از سوی دیگر، شبکه معابر هر شهر درواقع تصویری خلاصه‌شده از کل شهر است که بسیاری از ویژگی‌های ساختاری آن را بازنمایی می‌کند و دربردارنده اطلاعات بسیاری در مورد سازوکارهایی موثر در تکوین و تکامل شهرها است. در یک تقسیم‌بندی کلان، الگوی[۲] شبکه معابر در دودسته کلی الگوهای خودسازمان‌یافته[۳] یا اندام‌واره‌ای و الگوهای از پیش طراحی‌شده تقسیم‌بندی می‌شود؛ الگوهای خودسازمان‌یافته عموماً متأثر از موانع و محدودیت‌های محلی و به‌دوراز تحمیل هیچ سازوکار رسمی، از معاضدت هماهنگ نشده تعداد بی‌شماری از عوامل در طول زمان رُسته‌اند (جیکوبز، ۱۹۶۱)، درصورتی‌که الگوهای از پیش طراحی‌شده براثر موانع و محدودیت‌های کلان و بزرگ‌مقیاس اقتصادی و اجتماعی، از پیش اندیشیده شده‌اند و عموماً در مدت‌زمان کوتاه‌تری نسبت به الگوهای خودسازمان‌یافته توسعه‌یافته و تکامل می‌یابند. توصیفی که عموماً از الگوهای خودسازمان‌یافته ارائه می‌شود با صفاتی نظیر بی‌نظم، تودرتو و پرپیچ‌وخم همراه است و به همین دلیل تا مدت‌ها، ارزش بنیادی و اساسی آن‌ها دست‌کم گرفته می‌شد، اما برخی متفکران نظیر جیکوبز (جیکوبز، ۱۹۶۱) برای همین خیابان‌های نامنظم و پرپیچ‌وخم بافت‌های خودسازمان‌یافته شهرهای کهن ارزش فراوانی قائل و بر این باورند که بی‌نظمی این الگوها، قانونی از ضمایم ترجیحی[۴] و توپولوژی سلسله‌مراتبی است و به‌نحوی‌که جای‌گذاری شده که در شرایط اقلیمی، جغرافیایی، اجتماعی و فرهنگی متفاوت، نظمی را به نمایش می‌گذارد که با بسیاری از سیستم‌های غیر جغرافیایی نظیر سیستم‌های بیولوژیکی، اجتماعی و طبیعی مشترک است (پورتا و همکاران، ۲۰۰۶a). بر این پایه، نظم پیچیده و شگفت‌آورِ نهفته در الگوهای خودسازمان‌یافته، بی‌شباهت به نظم هندسه اقلیدسی، با نگاه اول قابل‌مشاهده نیست؛ این نظم پیچیده (آن‌گونه که جیکوبز توصیف می‌نماید) «نظم زندگی[۵]» است (جیکوبز، ۱۹۶۱). این جهت‌گیری سبب شد تا از اوایل دهه ۱۹۶۰ موجی از مطالعات با مضمون تحلیل ساختار کالبدی شبکه معابر و مؤلفه‌های موثر بر آن با استفاده ازنظریه گراف آغاز شود که سعی در شناسایی ویژگی‌های شبکه معابر بافت‌های خودسازمان‌یافته و نظم پیچیده نهفته در آن‌ها داشته‌اند. بااین‌وجود، در آن زمان محدودیت در دسترسی به اطلاعات موردنیاز، کمبود فنون مدل‌سازی و درنهایت فقدان ابزارهای قدرتمند محاسباتی کار را دشوار می‌ساخت (شی و لوینسون، ۲۰۰۷). این کاستی‌ها درنهایت سبب شد تا شناسایی ساختار واقعی شبکه معابر و تجزیه‌وتحلیل عمیق و موشکافانه آن تا پیش از پیشرفت‌های فن‌آورانه در حوزه علوم کامپیوتر همچنان مغفول بماند تا آن‌که در سال ۲۰۰۲ باراباسی در کتابی تحت عنوان "علم نوین شبکه‌ها" (باراباسی، ۲۰۰۲) به مقایسه ساختار شبکه معابر شهری با سیستم‌های بیولوژیکی و طبیعی پرداخت و به وجود قاعده‌مندی‌های یکسانی میان آن‌ها پی برد که می‌توانست صحت ادعای جیکوبز مبنی بر وجود نظمی پیچیده در الگوی شبکه معابر خودسازمان‌یافته را به اثبات رساند. از آن زمان به بعد، مطالعه تطبیقی ویژگی‌های شبکه معابر

---

1 . layout

۲. به‌کارگیری واژه "الگو" (pattern) در این مطالعه عامدانه و برای پرهیز از مناقشاتی بوده که در استفاده از واژگانی نظیر "ساختار" به وجود می‌آید. همچنین با توجه به‌ضرورت دقت نظری مشابه، سایر واژگان مورداستفاده در این پژوهش در بخش چارچوب نظری تعریف‌شده‌اند.

3 . self-organized

4 . prefential attachment

5 . order of life

خودسازمان‌یافته، قاعده‌مندی‌های مشترک حاکم بر آن‌ها، بازنمایی تفاوت‌ها و به‌ویژه شباهت‌های میان آنان به زمینه‌ای پژوهشی مبدل شد (به‌طور مثال بوهل و همکاران، ۲۰۰۶؛ استرانو و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژیانگ و کلارامونت، ۲۰۰۴a؛ مانیاداکیس و واروتاس، ۲۰۱۵) که بر کشف نظم نهفته در الگوی شبکه معابر جای گذاری شده در شهرهایی با شرایط اقلیمی، جغرافیایی، اجتماعی و فرهنگی متفاوت متمرکز است.

باوجود اهمیت یافتن مطالعه الگوی شبکه معابر در ادبیات بین‌المللی، به نظر می‌رسد مطالعات داخلی از توجه به این زمینه پژوهشی که عمدتاً تحت عنوان «ریخت‌شناسی شهری[1]» از آن یاد می‌شود و نیز استفاده از رهیافت شبکه در مدل‌سازی شبکه‌های پیچیده شهری که حوزه‌ای نسبتاً متأخر است (و بتی[2] (۲۰۱۳) از آن به‌عنوان «علم نوین شهرها[3]» نام می‌برد)، به‌جز چند استثنا (و تا حد جستجوی وسیع این مقاله) بازمانده است (به‌طور مثال بحرینی و تقابن، ۱۳۹۰؛ عباس‌زادگان، ۱۳۸۱؛ ایزدی و شریفی، ۱۳۹۴) که برونداد روشی و محتوایی آن‌ها در دودسته قابل‌ذکر بوده و از این رهگذر ضرورت مقاله حاضر مشخص می‌گردد.

نخست- مطالعات داخلی چندی که در حوزه ریخت‌شناسی شهری انجام پذیرفته، در اغلب موارد به شاخص‌های کیفی و توصیفی متکی است (به‌طور مثال میرمقتدایی، ۱۳۸۵؛ دانشپور و مرادی،۱۳۹۱) درحالی‌که بسیاری از عناصر برشمرده در مطالعات خارجی به مدد شاخص‌های کمّی، به‌دقت و به شکلی نظام‌مند قابل‌سنجش، مقایسه پذیری و گونه‌بندی هستند؛

دوم- اغلب مطالعات داخلی به‌طور عام بر مفهوم ریخت‌شناسی شهری (متشکل از عناصری نظیر قطعه، بلوک، فضاهای باز و ...) متمرکز بوده‌اند (ذاکر حقیقی و دیگران، ۱۳۸۹؛ آرسیا و مظلومی، ۲۰۱۵) و کمتر، الگوی شبکه معابر را به‌طور خاص مرکز مطالعه قرار داده‌اند؛ این در حالی است که عمده سکونتگاه‌های ایران به‌واسطه سابقه کهن شهرنشینی، دربردارنده محدوده‌های پرشماری متشکل از الگوی شبکه معابر خودسازمان‌یافته هستند.

به‌این‌ترتیب، فقدان مطالعاتی که به توصیف، تحلیل و اکتشاف نظام‌مندی‌ها و قواعد حاکم بر شبکه معابر شهری از طریق به‌کارگیری چارچوبی تحلیلی بپردازد و امکان درکی کمّی از این ویژگی‌ها را ممکن سازد، بیشتر احساس می‌شود و پژوهش پیشرو به دنبال پاسخگویی به این پرسش انجام پذیرفته که الگوهای خودسازمان‌یافته شبکه معابر در یک محدوده جغرافیایی مشخص، که بدون تحمیل هیچ طرح از پیش اندیشیده شده‌ای که توسط عوامل اداری[4] بیرونی پیش برده شده باشد، به‌طور تدریجی طی زمان به وجود آمده‌اند، تا چه اندازه شبیه یکدیگرند و چه تفاوت‌هایی میان آن‌ها وجود دارد؟ همچنین این مقاله درصدد آن است تا با ارائه چارچوبی تحلیلی (و معرفی شاخص‌های مناسبی که وجوه مختلفی از الگوهای شبکه معابر را هدف قرار می‌دهند) امکان بازشناسی این شباهت‌ها و تفاوت‌ها را به شیوه‌ای روش‌مند فراهم آورد.

برای این منظور، روش کار پژوهش مبتنی بر سه مرحله و به شرح زیر تدبیر شده است:

نخست- چارچوب مفهومی: با مرور مبانی نظری و دیدگاه‌های مختلفی که موضوع الگوی شبکه معابر را دستمایه پژوهش قرار داده‌اند، چارچوب مفهومی پژوهش بر سه بعد پیکره‌بندی، ترکیب‌بندی و ساخت استوارشده است؛

دوم- روش و سنجش نمونه‌های موردی: شاخص‌های مرتبط با هر یک از ابعاد سه‌گانه پیش‌گفته، معرفی و مقادیر آن‌ها در سطح نمونه‌های مطالعاتی که به‌دقت انتخاب و خطوط شبکه معابر آن‌ها ترسیم‌شده، موردمحاسبه قرارگرفته است.

1 . urban morphology
2 . Michael Batty
3 ."New Science of Cities"
4 . central agents

سوم- مقایسه تطبیقی و نتیجه‌گیری: مقادیر به‌دست‌آمده با کمک روش تحلیل‌تری پلات با یکدیگر مقایسه و شباهت‌ها و تفاوت‌های میان الگوهای مختلف شبکه معابر ردیابی شده و با بحث درباره یافته‌ها و نتایج پژوهش خاتمه یافته است.

مبانی نظری

پرداختن به موضوع شبکه معابر و بازشناسی ویژگی‌های شکلی آن‌ها (هم به‌عنوان بستر ارتباط‌دهنده فعالیت‌ها و هم از ارکان اصلی اطلاعات جغرافیایی شهر) در مطالعات شهری و منطقه‌ای دارای پیشینه‌ای طولانی است و سال‌هاست که موردعلاقه پژوهشگران حوزه‌های مختلف شهری قرار دارند (هاگت و چورلی، ۱۹۶۹؛ شی و لوینسون، ۲۰۰۹ هیلیر و هنسون، ۱۹۸۴؛ مارشال، ۲۰۰۶). تلاش هر یک از این تحقیقات به دست آوردن درکی کمی از چگونگی تحول و تکوین الگوی شبکه معابر به‌منظور گونه شناسی و طبقه‌بندی آن‌ها بوده است. رد پای این مطالعات به اوایل دهه ۱۹۶۰ و موجی از پژوهش‌ها با مضمون تحلیل ساختار کالبدی شبکه معابر با استفاده از چارچوب نظریه گراف بازمی‌گردد که سعی در شناسایی ویژگی‌های شبکه معابرِ بافت‌های کهن و نظم پیچیده نهفته در آن‌ها داشت. از نخستین آن‌ها، پژوهش‌های انجام‌شده توسط کانسکی (کانسکی، ۱۹۶۳) در سال ۱۹۶۳ است که با بهره‌گیری ازنظریه گراف و روش‌های ریاضی به توسعه طیفی از سنجه‌ها به‌منظور شناسایی و طبقه‌بندی کمّی ساختار فضایی شبکه‌های حمل‌ونقلی (ریلی و جاده‌ای) پرداخت و رابطه میان الگوی شبکه معابر و ویژگی‌های اقتصاد منطقه‌ای را موردبررسی قرار داد. پس از وی، یکی از برجسته‌ترین مطالعات این حوزه توسط هاگت و چورلی (هاگت و چورلی، ۱۹۶۹) انجام‌شده است که از تحلیل‌های شبکه‌ای نظریه گراف برای درک بهتر وجوه فضایی شبکه حمل‌ونقلی بهره بردند. در همان زمان، کیسلینگ (کیسلینگ، ۱۹۶۹) در مطالعات خود پیرامون بررسی تأثیر الگوی شبکه معابر بر روی اهمیت اتصالات و کیفیت دسترسی نقاط در منطقه نوا اسکوتیا[1]، از الگوی شبکه معابر با عنوان سنجه‌ای از طرح شبکه و ویژگی‌های عناصر منفرد آن یادکرده است. از آن زمان تاکنون، پژوهشگران متعددی بر این موضوع متمرکز بوده‌اند و از طریق تعریف سنجه‌های مختلف سعی کرده‌اند به بررسی تأثیر الگوی شبکه معابر و تأثیر آن بر کیفیت دسترسی (لی و شوم، ۲۰۰۱)، حجم تردد عابران پیاده (هس، ۱۹۹۷) یا حتی توسعه اقتصادی (کانسکی، ۱۹۶۳) بپردازند. امروزه، دسترسی به نقشه‌های شهری باز و پایگاه‌های اطلاعاتی انبوه (نظیر OSM و Google Street Map) در کنار قدرتمندتر شدن ابزارهای محاسباتی، این امکان را برای پژوهشگران فراهم آورده که بتوانند مطالعه الگوی شبکه معابر را به‌طور گسترده و در سطوح وسیعی پیش ببرند (به‌طور مثال: بوییِنگ، ۲۰۱۸ و بوییِنگ، ۲۰۲۰). با این توضیح پیرامون پیشینه و رویکردهای نظری، سیر تحولات موضوع از دهه ۱۹۶۰ تاکنون را می‌توان در چهار دسته به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

۱) در دسته نخست، محققانی نظیر باراباسی (باراباسی و آلبرت، ۱۹۹۹) -عمدتاً از خارج از حوزه دانش مطالعات شهری- در تلاش بودند تا شبکه معابر شهری را به‌عنوان یکی از انواع شبکه‌هایی که در عالم هستی وجود دارد مورد کنکاش و بررسی قرار دهند و به مطالعه و مقایسه ویژگی‌های ساختاری آن‌ها در برابر انواع دیگر شبکه‌ها بپردازند، این دسته از متفکران انواع شبکه‌ها را به دو گروه جهان‌های کوچک[2] و شبکه‌های بدون مقیاس[3] تقسیم‌بندی کرده‌اند (برای مثال استرانو و همکاران، ۲۰۱۳؛ باراباسی و آلبرت، ۱۹۹۹؛ ژیانگ و کلارامونت، ۲۰۰۴b؛ واتس و اشتروگاتز، ۱۹۹۸)

۲) در دسته دوم، محققانی از حوزه مطالعات شهری سعی کردند تا از فنون معرفی‌شده در علم تحلیل شبکه برای

1- Nova Scotia
2- small world
3- Scale free

درک بهتر ویژگی‌های شبکه معابر بهره ببرند و به مقایسه توپولوژی[1] شبکه معابر (مانند درجه توزیع، مرکزیت، خوشه‌بندی و غیره) شهرهای مختلف با یکدیگر و استنتاج قاعده‌مندی‌های مشترک حاکم بر آن‌ها یا درک تفاوت‌های موثر بر سازوکار تکوین و تکامل شهرها بپردازند. محققان این دسته در تحلیل‌های خود نسبت به عامل فاصله و ابعاد هندسی شبکه معابر (مانند زوایا، طول، مساحت و غیره) بی‌توجه بودند و تمرکز خود را تنها بر مطالعه الگوی اتصال معابر معطوف کرده بودند (مانند پارثاساراثی و لوینسون، ۲۰۱۲).

۳) در دسته سوم، برخی دیگر از محققان با تمایز قائل شدن میان شبکه‌های جغرافیایی –که عامل فاصله در آن‌ها مهم تلقی می‌شود– در برابر دیگر انواع شبکه‌ها، اتخاذ رهیافتی متفاوت ازآنچه در دیگر علوم به‌منظور مطالعه شبکه‌ها مرسوم است را مطرح ساختند (برای مثال گستنر و نیومن، ۲۰۰۴؛ مانیاداکیس و واروتاس، ۲۰۱۵؛ ژیانگ و کلارامونت، a۲۰۰۴). آن‌ها بر اهمیت ویژگی‌های ترکیب‌بندیِ شبکه معابر متأثر از ابعاد هندسی آن‌ها (زوایا، طول واحد، توزیع مساحت و غیره) تأکید دارند (به‌طور مثال لی و سوکاگوچی، ۲۰۰۵).

۴) پژوهشگران دسته چهارم با باور به اهمیت هر دو وجه پیکره‌بندی و ترکیب‌بندی، سعی در تحلیل توأمان ویژگی‌های توپولوژیک و هندسی داشته‌اند (گستنر و نیومن، ۲۰۰۴؛ مانیاداکیس و واروتاس، ۲۰۱۵؛ ژیانگ و کلارامونت، a۲۰۰۴). یکی از جامع‌ترین آن‌ها، مدل «تحلیل ساختار راه»[2] یا به‌اختصار RSA نامیده می‌شود و توسط مارشال (مارشال، ۲۰۰۵) و بر پایه تحلیل ساده شبکه[3] ارائه‌شده است.

با این توضیح، رویکرد نظری پژوهش پیش رو به پژوهشگران دسته چهارم نزدیک‌تر است زیرا درصدد برآمده تا از طریق تعریف شاخص‌هایی که ویژگی‌های توپولوژیک و هندسی شبکه معابر را موردسنجش قرار می‌دهند، تحلیل کامل‌تری که متوجه ابعاد مختلف الگوی شبکه معابر است، ارائه دهد و بازشناسی الگوی شبکه معابر را از طریق تعریف سه بُعد پیکره‌بندی[4]، ترکیب‌بندی[5]، و ساخت[6] پیش ببرد که تعاریف آن‌ها عبارت‌اند از:

نخست– پیکره‌بندی: آن دسته از ویژگی‌هایی که به توپولوژی انتزاعی و مجرد مرتبط می‌شوند و برای اشاره به فرآیندی که طی آن اجزا در کنار هم قرار می‌گیرند به کار می‌روند؛

دوم– ترکیب‌بندی: آن دسته از ویژگی‌هایی که به‌طور مطلق به هندسه فیزیکی معابر مرتبط می‌شوند و برای اشاره به محصول نهایی ناشی از ترتیب قرارگیری[7] اجزا به کار می‌روند؛

سوم– ساخت: آن دسته از ویژگی‌هایی که از نسبت میان یک جزء هندسی به یک جز توپولوژیک یا بالعکس به دست می‌آید و برای اشاره به رابطه میان محصول و فرآیند به کار می‌روند.

اگرچه تعریف این سه بُعد در نگاه نخست شفاف و روشن به نظر می‌رسد، اما از یکسو تدقیق آن‌ها نیازمند پرداختن به ویژگی‌های هر یک از آن‌هاست که در جدول ۱ ارائه‌شده و از سوی دیگر بررسی و تحلیل عمیق موضوع‌های مورداشاره صاحب‌نظران این حوزه (باهدف پژوهش و زمینه تخصصی متفاوت) نمایانگر چندگانگی و تفسیرهای متفاوت در بازنمایی مفهومی الگوی شبکه معابر بوده که به طرح سه پرسش اساسی در تدقیق تعریف و روش تحلیل منجر می‌شود:

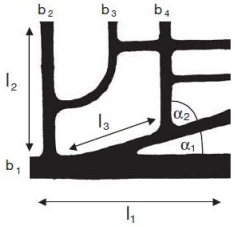
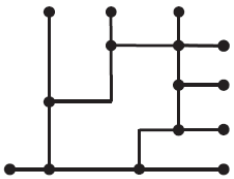
پرسش نخست: عناصر تشکیل‌دهنده ساختار معابر –تقاطع و معبر– با کدام‌یک از اجزای شبکه –رأس یا خط– متناظرند؟

1 -topology
2 . Route structure analysis (RSA)
3 . Simple Network Analysis (SNA)
4 . Configuration
5 . Composition
6 . Constitution
7 . formation

پرسش دوم: عناصر تشکیل‌دهنده ساختار معابر کدام‌اند و روابط میان آن‌ها چگونه محقق می‌شود؟

پرسش سوم: چه ویژگی‌هایی[1] را می‌توان به اجزای شبکه –رأس یا خط– نسبت داد؟

جدول ۱. مقایسه روابط و ویژگی‌های میان سه بُعد ترکیب‌بندی، پیکره‌بندی و ساخت در مطالعه الگوی شبکه معابر

ویژگی‌ها	ترکیب‌بندی	پیکره‌بندی	ساخت
مرتبط با	هندسه/ توپوگرافی	توپولوژی	هندسه و توپولوژی
بعد	کاملاً دوبعدی	یک یا دوبعدی	دوبعدی
شکل عمومی	مستطیل، مربع، دایره، مثلث و ...	دور (cell)، درخت (tree)	حاصل کسر، نسبت
ویژگی‌ها	مساحت، طول، عرض، زاویه یا جهت	پیوستگی، اتصال، مجاورت	تراکم، متوسط، میانگین
ویژگی‌های اجزا	مستقیم‌الخط یا قطری، عریض یا باریک مستقیم یا منحنی	نقاط سه‌راهی (T)، نقاط چهارراهی (X)، نقاط مسدود (culs-de-sac)	متوسط طول معبر، تراکم بن‌بست در واحد سطح
مقادیر	اعداد حقیقی شامل کسرها	اعداد گسسته و نسبت‌ها	اعداد حقیقی و نسبت‌ها
مثال‌ها	طول ۳۷ متر زاویه ۶۲/۲ درجه	تعداد پیوندها: ۷۲ تعداد نقاط: ۴۹	تراکم تقاطع: ۷ تقاطع در واحد سطح تراکم معبر: ۱۴ معبر در واحد سطح
نمونه			

منبع: (مارشال، ۲۰۰۵: ۱۶۶-۱۶۷ و مارشال، ۲۰۰۵: ۸۸)

پرداختن به پاسخ این پرسش‌ها از آغاز تاکنون محل بحث و مناقشه بوده و کوشش‌های بسیاری برای برون‌رفت از دشواری‌های مرتبط با هر یک انجام پذیرفته، ازاین‌رو پاسخ، هرچه باشد می‌تواند تأثیرات وسیعی بر چهارچوب‌های تحلیلی به‌کاررفته در مطالعه الگوی شبکه معابر داشته باشد؛ این اختلاف در تعاریف، نه‌تنها متأثر از تفاوت در نوع نگرش به موضوع شبکه معابر و ابعاد مترتب بر آن است بلکه تفاسیر و خوانش‌های متمایزی از ارتباط میان الگوی شبکه معابر بر پدیده‌های دیگری نظیر حرکت، وقوع تصادف، حجم تردد و جز آن را نیز ممکن می‌سازد. بنابراین پاسخ‌ها می‌تواند به‌عنوان نقطه شروع پرداختن به موضوع قلمداد شود:

– در پاسخ به پرسش اول، چگونگی تناظر اجزای شبکه معابر با اجزای شبکه –رأس یا خط– قرار دارد که از آن به «مسئله بازنمایی[2]» یاد می‌شود؛ چنانچه هر جزء از خیابان[3] به یک یال[4] و محل تقاطع‌ها به یک رأس[5] تبدیل شود، به سبب تناظر و همبستگی میان ابعاد اجزای جغرافیایی و اجزای گراف، این نوع از بازنمایی، مستقیم یا اولیه[6] خوانده

1 . attribute
2 . representation problem
3 . road segment
4 . edge
5 . node
6 . primal representation

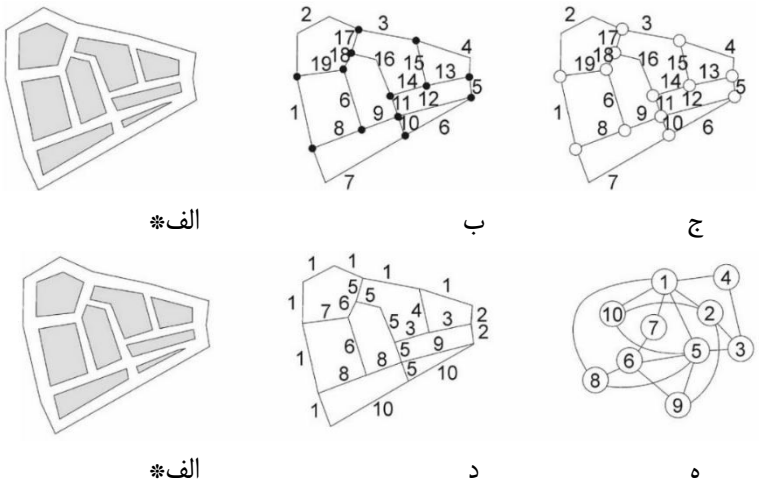
می‌شود. در برابر آن، در نمایش غیرمستقیم یا ثانویه[1]، خیابان‌ها به نقاط و تقاطع آن‌ها با یکدیگر به یال‌های گراف تبدیل می‌شوند (پورتا و همکاران، ۲۰۰۶a؛ پورتا و همکاران، ۲۰۰۶b؛ کروچیتی و همکاران، ۲۰۰۶؛ مارشال، ۲۰۱۸) (شکل ۱).

– در پاسخ به پرسش دوم، چگونگی تعریف معبر به‌عنوان عنصر تشکیل‌دهنده و چگونگی ارتباط معابر با یکدیگر مطرح می‌شود که از آن به «مسئله تعمیم[2]» یاد می‌شود؛ چگونگی اعمال «قاعده امتداد»[3] و این‌که چه تعداد از یال‌های متصل را می‌توان در ادغام با یکدیگر به‌عنوان یک معبر قلمداد کرد به تشکیل گراف‌های متفاوتی –اولیه یا ثانویه– برای مجموعه یکسانی از معابر منتهی می‌شود (بتی و رانا، ۲۰۰۲). به‌طور مثال ژیانگ و کلارامونت، پس از مطالعه خود بر پایه شیوه نمایش اولیه (ژیانگ و کلارامونت، ۲۰۰۲) به پیشنهاد مدلی با نام «رهیافت خیابان»[4] دست زدند (ژیانگ و کلارامونت، ۲۰۰۴ a و b) که در آن قاعده امتداد بر اساس نام خیابان قرار دارد؛ درحالی‌که شیوه تعمیم دیگری که توسط تامسون (تامسون، ۲۰۰۴) با نام ICN [5] معرفی‌شده، بر اساس ترجیح حرکت در خط مستقیم در محل تقاطع‌ها قرار دارد که یک ویژگی شناختی مشهور در مسیریابی انسان‌ها است.

– در پاسخ به پرسش سوم، چگونگی نسبت دادن صفات مختلف به خطوط و نقاط شبکه قرار دارد که از آن به «مسئله وزن دهی[6]» یاد می‌شود. برخی از صاحب‌نظران نظیر شی و لوینسون (شی و لوینسون، ۲۰۰۷)، تنها به مطالعه چگونگی ارتباط نقاط با یکدیگر و ترکیب اتصال آن‌ها پرداخته‌اند که توپولوژی شبکه نامیده می‌شود. توپولوژی توسط ماتریس مجاورت a_{ij} نشان داده می‌شود، که در آن چنانچه دو رأس i و j به یکدیگر متصل باشند درایه a_{ij} از ماتریس، برابر یک (صرف‌نظر از حجم رابطه میان دو رأس یا فاصله میان آن‌ها) و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود. توپولوژی تنها به وجود یا نبود ارتباط میان رئوس وابسته است و به دلیل قائل نبودنِ هیچ مشخصه‌ای برای یال‌ها، متوجه دیگر ویژگی‌های هندسی اعم از طول معابر، زاویه تقاطع معابر با یکدیگر یا وجود انحراف و شکستگی در طول یک معبر نیست. برخی دیگر نظیر مارشال (مارشال، ۲۰۰۵)، برای بازنمایی و درک کامل شبکه‌های جغرافیایی[7] که شبکه معابر از آن جمله‌اند، مفاهیم توپوگرافی و ریخت‌شناسانه را به مفاهیم توپولوژیک افزوده و به‌کارگیری تحلیل‌های دیگری اعم از تحلیل‌های هندسی را ضروری دانسته است.

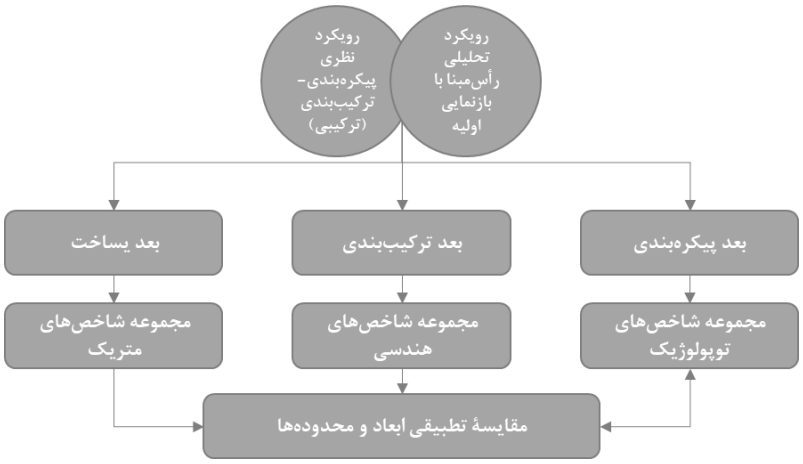
بر پایه ترکیب چارچوب نظری منتخب پژوهش و مؤلفه‌ها و شیوه‌های تحلیلی آن، مدل مفهومی پژوهش (شکل ۲) در شکل زیر نمایش داده‌شده است. این پژوهش، شیوه بازنمایی اولیه را در تحلیل الگوی شبکه معابر برگزیده و از رهیافت راس‌مبنا[8] استفاده‌شده که ساده‌ترین و عمومی‌ترین رهیافت است (و در آن پس از تشکیل گراف اولیه، هر معبر به یک یال و هر تقاطع به یک رأس تبدیل می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر، میان اجزای شبکه معابر –تقاطع و معبر–با اجزای گراف –رأس و خط–تناظری یک‌به‌یک وجود دارد.) و طول هر معبر به‌عنوان ویژگی وزنی هر معبر، به گراف حاصل از شیوه تعمیم راس‌مبنا افزوده‌شده است.

1 . dual representation
2 . generalization problem
3 . principal of continuity
4 . street approach
5 . intersection continuity negotiation
6. weight problem
۷. اگرچه بُعد توپوگرافی در تحلیل شبکه‌های غیر جغرافیایی نظیر روابط دوستی میان انسان‌ها مفهومی ندارد، اما در شبکه‌هایی که از ویژگی‌های مکانی متـأثر می‌شوند نظیر شبکه معابر شهری به‌شدت مهم تلقی می‌شود.
8. node centric



شکل ۱. چگونگی تشکیل گراف اولیه (پورتا و همکاران، ۲۰۰۶a؛ پورتا و همکاران، ۲۰۰۶b)

*** الف: یک سیستم شهری فرضی، ب: مدل شبکه اولیه، ج: گراف اولیه، د: مدل شبکه اولیه مبتنی بر رهیافت خیابان، ه: گراف ثانویه**



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش

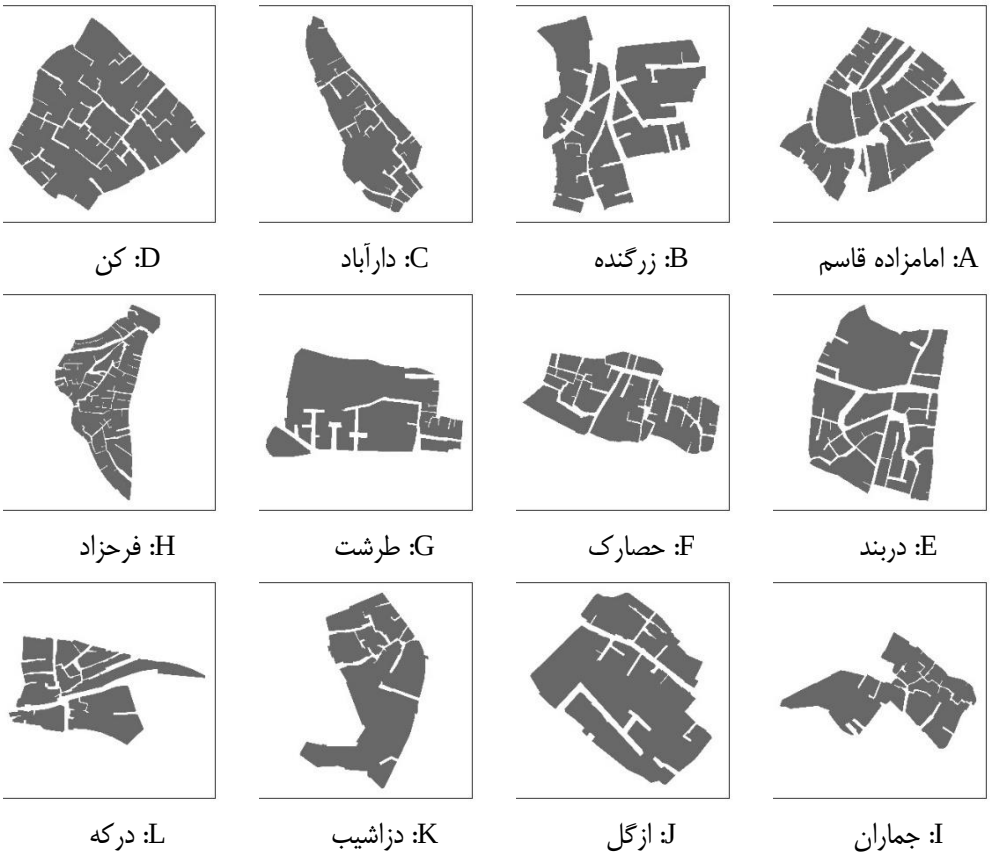
محدوده مورد مطالعه

این پژوهش ازنظر قلمرو مکانی محدود به شهر تهران بوده، زیرا یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها برای آغاز فرایند تحلیل سکونتگاه‌های انسانیِ دارای بافت خودسازمان‌یافته، دسترسی به اطلاعات‌پایه بوده و با توجه به آن، دیگر شهرها و سکونتگاه‌های انسانی را شامل نگردید (محدودیت اصلی پژوهش). شهر تهران[۱] به سبب برخورداری از پیشینه و قدمت طولانی شهرنشینی دارای محدوده‌های تاریخی و روستایی ارزشمندی است که می‌توانند الگوی خودسازمان‌یافته شبکه معابر را نمایندگی کنند. افزون بر دسترسی به اطلاعات، مجموعه‌ای از معیارها نیز برای انتخاب محله‌های شهری تهران به‌کاررفته‌اند که در جدول ۲ نمایش داده‌شده و بر پایه آن‌ها پانزده محدوده مطالعاتی برگزیده‌شده‌اند.

۱. رعایت همگنی جغرافیایی مهم‌ترین دلیل انتخاب نمونه‌های مطالعاتی در محدوده شهر تهران بوده، باید افزود متغیرهای دیگری نظیر ویژگی‌های فرهنگی- اقتصادی نیز می‌توانند بر الگوی شبکه معابر موثر باشند. اگرچه مطالعه تأثیر زمینه‌های فرهنگی- اقتصادی بر الگوی شبکه معابر خارج از اهداف و پرسش‌های پیشِ رویِ این پژوهش بوده و می‌تواند موضوع مطالعه دیگری قرار گیرد، سعی شده با محدود کردن محدوده‌های مطالعاتی به سکونتگاه‌های دارای پیشینه روستایی واقع در شهر تهران، که ازنظر ویژگی‌های اقتصادی- فرهنگی -دست‌کم در زمان شکل‌گیری- نسبتاً همگن بوده‌اند، تأثیر این ویژگی‌ها بر الگوی شبکه معابر که عموماً در گستره‌های وسیع متغیرند، تا حد ممکن کنترل شود.

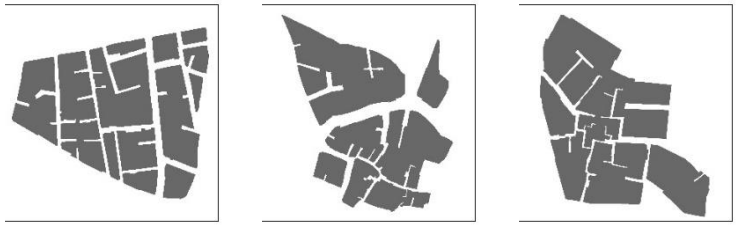
جدول ۲. معیارهای انتخاب محدوده‌های مطالعاتی

معیارها	توصیف معیار	برخی محله‌های حذف‌شده پس از اعمال
واقع‌شدن در سطوح واحد از تقسیمات شهری	محدوده باید دربردارنده یک محله یا بخشی از آن باشند؛	_
دارا بودن انسجام شبکه	محدوده باید فاقد عبور بزرگراه‌ها و شریانی‌های اصلی از درون خود باشد؛ زیرا موجب از دست رفتن بخشی از الگوی اتصال معابر به یکدیگر و انسجام درونی بافت می‌شود،	ده ونک، سنگلج
کارکرد عمده مسکونی	محدوده باید عمدتاً مسکونی باشند به‌گونه‌ای که نسبت سطوح غیرمسکونی به وسعت محدوده از یک‌سو و نسبت سطوح غیرمسکونی به سطوح مسکونی از سوی دیگر، در تمامی آن‌ها مشابه هم باشد[1] زیرا در پاره‌ای از موارد وجود فعالیت‌های غیرمسکونی به سبب الزامات استقرار و مساحت‌های موردنیاز –به‌طور مثال بیمارستان یا پادگان– به شکل‌گیری بلوک‌های شهری وسیعی منجر می‌شود و کیفیت اتصال و الگوی شبکه را دستخوش تغییر می‌نماید؛	محلات مرکزی تهران نظیر سنگلج، دولاب و دروازه غار، امامزاده یحیی
وسعت	محدوده‌ها باید تا حد ممکن دارای وسعت به هم نزدیک باشد، بدیهی است که مقایسه نحوه توزیع تقاطع‌ها و کیفیت اتصال معابر تنها در محدوده‌هایی با وسعت یکسان منطقی می‌نماید؛	منظریه، مرادآباد
دربر نداشتن عرصه‌های غیرشهری وسیع	محدوده‌ها باید فاقد عوارض طبیعی یا انسان‌ساختی باشند (به‌طور مثال نظیر باغ، رودخانه یا خط آهن) که بر الگوی شبکه معابر موثر باشد؛	لویزان، فرحزاد
حفظ ویژگی‌های کالبدی اولیه	محدوده‌ها باید به‌دوراز مداخلات انسانی ناشی از اصلاح طرح هندسی یا ایجاد معابر جدید باشد که درنتیجه اجرای طرح‌های توسعه شهری به بافت‌های شهری تحمیل می‌شوند.	ده ونک



A: امامزاده قاسم
B: زرگنده
C: دارآباد
D: کن
E: دربند
F: حصارک
G: طرشت
H: فرحزاد
I: جماران
J: ازگل
K: دزاشیب
L: درکه

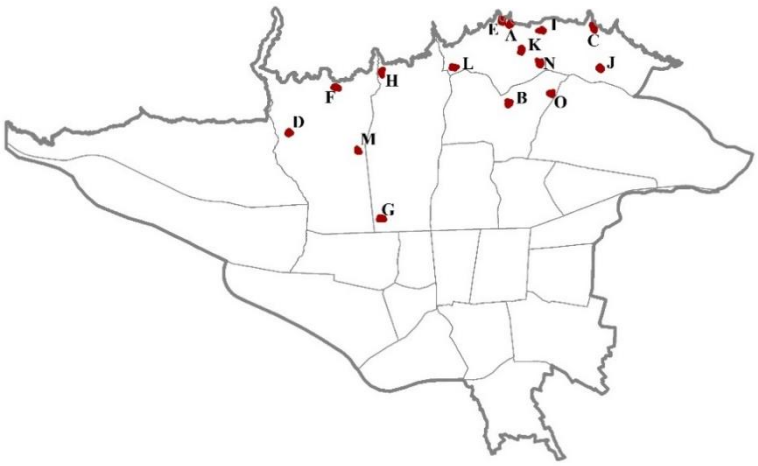
۱. این کار با استفاده از بازدید میدانی و مراجعه به تصاویر هوایی انجام پذیرفته است.



M: باغ فیض N: چیذر O: اختیاریه

شکل ۳. نقشه توده- فضای محدوده‌های مطالعاتی

شکل ۳ الگوی شبکه معابر محدوده‌های منتخب را در قالب نقشه توده- فضای هر یک بازنمایی کرده است. در شکل ۴ پراکنش این محدوده‌ها در سطح شهر تهران و در جدول ۳ نیز مشخصات و ویژگی‌های هندسی و توپولوژیک شبکه معابر آن‌ها ارائه‌شده است.



شکل ۴. موقعیت قرارگیری محدوده‌های مطالعاتی در شهر تهران

جدول ۳. مشخصات و ویژگی‌های پیکره‌بندی و ترکیب‌بندی شبکه معابر واقع در محدوده‌های مطالعاتی

ردیف	محله	A	B	C	D	E	F	G	H
		امامزاده قاسم	زرگنده	دارآباد	کن	دربند	حصارک	طرشت	فرحزاد
۱	مساحت محدوده (مترمربع)	۷۳۹۷۷	۸۱۵۰۵	۷۴۷۵۲	۷۷۰۵۷	۸۱۷۴۳	۸۱۴۴۲	۸۹۳۹۹	۷۴۰۰۶
۲	مجموع مساحت بلوک‌ها (مترمربع)	۴۹۴۵۸	۵۶۶۱۸	۵۵۳۲۴	۶۰۶۹۱	۵۸۲۳۳	۵۸۶۹۱	۶۷۴۹۳	۵۲۸۴۰
۳	مجموع مساحت معابر (مترمربع)	۲۴۵۱۹	۲۴۸۸۷	۱۹۴۲۸	۱۶۳۶۶	۲۳۵۱۱	۲۲۷۵۰	۲۱۹۰۶	۲۱۱۶۶
۴	مجموع طول معابر (متر)	۳۴۹۹	۳۱۵۲	۲۹۱۰	۳۰۷۰	۳۳۲۷	۳۴۴۲	۲۵۷۶	۳۹۲۹
۵	مجموع تعداد معابر	۹۳	۶۳	۷۶	۹۶	۷۸	۸۲	۴۸	۱۲۹
۶	مجموع تعداد تقاطع‌ها	۶۰	۳۳	۴۳	۵۰	۴۴	۴۷	۲۴	۶۸
۷	مجموع تعداد سه‌راهی‌ها (T)	۵۵	۳۰	۴۲	۴۹	۳۷	۴۱	۲۲	۶۲
۸	مجموع تعداد چهارراهی‌ها (X)	۳	۱	۱	۱	۶	۵	۱	۶
۹	مجموع تعداد پنج راهی‌ها یا بیشتر	۲	۲	۰	۰	۱	۱	۱	۰
۱۰	مجموع تعداد بن‌بست‌ها (cul-de-sac)	۲۵	۲۲	۲۳ ۴۴	۱۶	۱۵	۲۰	۴۸	
۱۱	مجموع تعداد رئوس	۸۵	۵۵	۶۶	۹۴	۶۰	۶۲	۴۴	۱۱۶
۱۲	مجموع تعداد بلوک‌ها (cell)	۱۶	۹	۱۱	۴	۱۹	۲۱	۵	۱۴
ردیف	محله	I	J	K	L	M	N	O	
		جماران	ازگل	دزاشیب	درکه	باغ فیض	چیذر	اختیاریه	
۱	مساحت محدوده (مترمربع)	۶۷۶۰۸	۷۹۴۹۱	۷۳۹۶۷	۶۷۵۸۹	۶۰۰۲۷	۹۰۸۵۸	۷۹۷۲۸	
۲	مجموع مساحت بلوک‌ها (مترمربع)	۵۲۰۳۰	۵۹۹۶۹	۵۷۶۸۵	۴۵۶۸۷	۴۴۴۸۱	۶۱۸۳۲	۵۵۰۳۲	
۳	مجموع مساحت معابر (مترمربع)	۱۵۵۷۹	۱۹۵۲۳	۱۶۲۸۲	۲۱۹۰۲	۱۵۵۴۶	۲۹۰۲۵	۲۴۶۹۵	

۴	مجموع طول معابر (متر)	۲۴۵۷	۲۲۶۸	۲۲۱۴	۲۸۱۶	۲۲۹۵	۲۹۸۴	۳۰۹۸
۵	مجموع تعداد معابر	۴۳	۳۹	۳۳	۵۸	۴۲	۵۹	۶۹
۶	مجموع تعداد تقاطع‌ها	۲۱	۲۰	۱۷	۳۳	۲۲	۳۱	۳۹
۷	مجموع تعداد سه‌راهی‌ها (T)	۱۷	۱۹	۱۵	۳۲	۲۰	۲۸	۳۶
۸	مجموع تعداد چهارراهی‌ها (X)	۴	۱	۲	۱	۲	۳	۳
۹	مجموع تعداد پنج راهی‌ها یا بیشتر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	مجموع تعداد بن‌بست‌ها (cul-de-sac)	۱۹	۱۷	۱۳	۱۶	۱۶	۲۲	۱۸
۱۱	مجموع تعداد رئوس	۴۰	۳۷	۳۰	۴۹	۳۸	۵۳	۵۷
۱۲	مجموع تعداد بلوک‌ها (cell)	۴	۳	۴	۱۰	۵	۷	۱۳

روش پژوهش

روش به‌کاررفته در این پژوهش از نوع کمی و تحلیلی- توصیفی با استفاده از مطالعه مقایسه‌ای- تطبیقیِ الگوی شبکه معابر در محدوده‌های خودسازمان‌یافته و متکی بر مطالعه موردی شهر تهران است. در چارچوب آنچه در پیشینه پژوهش گفته شد، این مقایسه با استفاده از سه دسته شاخص‌های توپولوژیک، ریخت‌شناسی و متریک انجام می‌شود که به‌این‌ترتیب با سه وجه پیکره‌بندی، ترکیب‌بندی و ساخت متناظرند. در ادامه، به توضیح هریک از این شاخص‌ها و سنجه‌های تعریف‌شده ذیل آن‌ها پرداخته می‌شود:

الف) پیکره‌بندی: شاخص‌های توپولوژیک

• بیشینه ممکن تعداد معابر (آلفا یا $\boldsymbol{\alpha}$): اگر گرافی دارای v رأس فرض شود زمانی کامل نامیده می‌شود که دارای $\frac{v\,(v-1)}{2}$ یال باشد، شاخص آلفا برابر بیشینه تعداد ممکن یال‌ها در گرافی با تعداد رئوس مشخص است (شی و لوینسون، ۲۰۰۷). این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تحلیل پیکره‌بندی شبکه‌ها است اما ازآنجاکه نسبت به تعداد یال‌های موجود در شبکه بی‌اعتنا است و صرفاً بیشینه تعداد ممکن یال‌ها را مبنا قرار می‌دهد، نمی‌تواند توصیف مناسبی از الگوی شبکه به‌ویژه در مطالعه شبکه‌های جغرافیایی نظیر شبکه معابر ارائه دهد. به این دلیل، علی‌رغم محاسبه آن، در انجام تحلیل‌های بعدی وارد نخواهد شد و شاخص دیگری با نام میانگین درجه رئوس که در مطالعه شبکه معابر قدرت توضیح بیشتری دارد به کار گرفته می‌شود.

• میانگین درجه رئوس ($\boldsymbol{DM}$): درجه هر رأس برابر مجموع تعداد معابری است که آن معبر با دیگر معابر به‌طور مستقیم تلاقی کرده است (شو و هریس، ۲۰۰۸:). درجه رئوس واقع در انتهای بن‌بست‌ها (Cul) برابر ۱، رئوس واقع در محل تلاقی سه‌راهی‌ها (T) برابر ۳ و محل تلاقی چهارراهی‌ها (X) برابر ۴ است و برای تقاطع‌های با ۵ بازو یا بیشتر به همین ترتیب محاسبه می‌شود. بنابراین میانگین درجه رئوس یک شبکه که تنها دارای بن‌بست، سه‌راهی و چهارراهی است، از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن n به معنای تعداد است:

$$MD = \frac{nCul * 1 + nT * 3 + nX * 4}{nCul + nT + nX}$$

• نسبت تعداد معابر به تعداد رئوس (بتا یا $\boldsymbol{\beta}$): شاخص بتا نسبت میان تعداد یال‌ها به رئوس موجود در شبکه است (شی و لوینسون، ۲۰۰۷). با فرض ثابت بودن تعداد رئوس (v)، بیشترین مقدار ممکن برای شاخص بتا برابر $\frac{(v-1)}{2}$ است و زمانی رخ می‌دهد که بیشینه تعداد معابر ممکن در شبکه وجود داشته باشد؛ همچنین کمینه این شاخص که در شبکه‌های خطی یا زنجیره‌ای با کمترین تعداد یال ممکن به دست می‌آید، برابر $(\frac{(v-1)}{v})$ خواهد بود.

• تراکم شبکه (گاما یا $\boldsymbol{\gamma}$): شاخص گاما از نسبت تعداد یال‌های موجود در شبکه به بیشترین تعداد یال‌های ممکن در آن یعنی $\frac{v\,(v-1)}{2}$ به دست می‌آید (شی و لوینسون، ۲۰۰۷). برخی از منابع نظیر پارساسارسی از این شاخص با عنوان

کامل شدگی نیز نام‌برده‌اند (پارثاساراثی، ۲۰۱۴). بیشترین مقدار این شاخص در شبکه‌ای با v رأس، که در آن هر رأس به هر یک از دیگر رأس‌ها متصل است برابر ۱ و کمترین مقدار آن در شبکه‌های زنجیره‌ای برابر$\frac{2}{v}$ خواهد بود.

• سهم سه‌راهی (T-ratio) و سهم چهارراهی (X-ratio): این دو شاخص که درواقع دو روی یک مفهوم هستند از نسبت تعداد سه‌راهی‌ها (T)/ چهاراهی‌ها (X) به مجموع تقاطع‌های موجود در شبکه به دست می‌آید (مارشال، ۲۰۰۵).

• سهم بن‌بست (Cul-ratio) و سهم بلوک (Cell-ratio): این دو شاخص که درواقع دو روی یک مفهوم هستند از نسبت تعداد بن‌بست‌ها (Cul) یا تعداد بلوک‌ها (Cell) به مجموع تعداد بن‌بست‌ها و بلوک‌ها به دست می‌آید و ازاین‌رو، مجموع آن‌ها همواره برابر ۱ خواهد بود (مارشال، ۲۰۰۵: ۹۸)

ب) ترکیب‌بندی: شاخص‌های ریخت‌شناسی یا هندسی

• متوسط ضریب شکل بلوک‌ها ($\boldsymbol{ShF\ (N)}$): این شاخص تمرکز خود را بر روی عامل بازدارندگیِ ایجادشده توسط شبکه معابر معطوف کرده است. اندازه‌گیری این شاخص از طریق شناسایی تمام چندضلعی‌هایی که توسط معابر احاطه‌شده‌اند ممکن می‌شود و مقدار آن برای هر چندضلعی از تقسیم مجذور محیط بر مساحت آن محاسبه می‌شود. به‌طورکلی، هرچه مقادیر به‌دست‌آمده برای این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده اعمال بیشتر بازدارندگی توسط شبکه معابر در مسیریابی افراد است زیرا نشان‌دهنده آن است که وسعت محدوده‌ای که عبور از پیرامون آن اجباری است بیشتر بوده و هیچ گزینه‌ای برای نفوذ به درون آن وجود ندارد. محاسبه این شاخص برای کل شبکه از طریق میانگین مقادیر به‌دست‌آمده از تمام چندضلعی‌ها ممکن می‌شود:

$$ShF(p) = \frac{P_p^2}{A_p} \quad ShF\ (N) = \frac{\sum_{p=1}^{n} ShF\ (p)}{C}$$

که در آن:

A_p برابر است با مساحت بلوک p برحسب کیلومترمربع که توسط معابر محصورشده

p_p برابر است با محیط بلوک p برحسب کیلومتر که توسط معابر محصورشده

n برابر است با تعداد بلوک‌های موجود در کل شبکه

در مساحت ثابت، دایره کمترین مقدار ضریب شکل و مستطیل بیشترین آن را دارا است، به‌طوری‌که اگر بتوان یک دایره، مربع و مستطیل به مساحت ۱ واحد مربع را در نظر گرفت، ضریب شکل آن‌ها به‌این‌ترتیب برابر ۱۲/۲۵، ۱۶ و ۲۵ محاسبه خواهد شد؛ به این اعتبار می‌توان گفت هرچه فرم هندسی بلوک‌ها به اشکال مستطیل و کشیده‌تر نزدیک شود، یا به‌واسطه وجود بن‌بست‌های متعدد نسبت محیط به مساحت افزایش یابد مقادیر بیشتری از این شاخص نیز به دست خواهد آمد.

• متوسط طول معبر در هر هکتار (LLMH): این شاخص از تقسیم مجموع طول معابر واقع در محدوده موردمطالعه به‌کل مساحت محدوده به دست می‌آید و واحد آن متر است (فورسیث، هرست و همکاران، ۲۰۰۸).

• متوسط مساحت بلوک (CellAM): این شاخص از تقسیم مجموع مساحت بلوک‌ها به تعداد بلوک‌ها به دست می‌آید و هر چه مقادیر آن بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که وسعت محدوده‌ای که عبور از پیرامون آن اجباری است بیشتر بوده و هیچ گزینه‌ای برای نفوذ به درون آن وجود ندارد بیشتر است (فورسیث، هرست و همکاران، ۲۰۰۸).

ج) ساخت: شاخص‌های متریک

شاخص‌های متریک از یک جز توپولوژیک و یک جز ریخت‌شناسی تشکیل‌شده‌اند:

• تراکم معبر ($\boldsymbol{LD}$): این شاخص از تقسیم تعداد یال‌های موجود در شبکه به مساحت منطقه‌ای که شبکه در آن

استقراریافته به دست می‌آید و هر چه مقادیر به‌دست‌آمده از آن بیشتر باشد نشان‌دهنده بیشتر بودن تعداد انتخاب‌هایی است که فرد در جابه‌جایی بین مبدأ و مقصد می‌تواند از میان آن‌ها گزینش کند (سونگ و ناپ، ۲۰۰۳). بااین‌وجود، این معیار نمی‌تواند چگونگی توزیع معابر را در وسعت موردمطالعه نشان دهد، زیرا ممکن است تعداد معابر در بخشی از وسعت منطقه بسیار بالا بوده و سایر نواحی آن یا خالی از معبر بوده یا تعداد کمی از معابر را در اختیار داشته باشند. ازاین‌رو بسیاری از صاحب‌نظران این شاخص را از طریق تقسیم مجموع طول معابر موجود در شبکه به مساحت منطقه‌ای که شبکه در آن استقراریافته به دست می‌آورند. به‌این‌ترتیب، چنانچه تعداد زیادی از معابر در محدوده کوچکی از منطقه موردمطالعه استقراریافته باشند، به سبب کوتاه بودن طول آن‌ها مقادیر کمتری از این شاخص حاصل می‌آید و می‌تواند چگونگی توزیع معابر را در سطح منطقه موردمطالعه به شکل مطلوب‌تری نشان دهد.

• تراکم رئوس (***VD***): این شاخص از تقسیم تعداد رئوس موجود در شبکه به مساحت منطقه‌ای که شبکه در آن استقراریافته به دست می‌آید و هر چه مقادیر به‌دست‌آمده از آن بیشتر باشد نشان‌دهنده بیشتر بودن تعداد انتخاب‌هایی است که فرد در جابه‌جایی بین مبدأ و مقصد می‌تواند از میان آن‌ها گزینش کند، زیرا هر تقاطع از محل برخورد حداقل ۳ معبر به وجود می‌آید که بالا بودن تعداد آن در واحد سطح ثابت به معنای آزادی عمل در انتخاب و تغییر مسیر جابه‌جایی افراد است (سونگ و ناپ، ۲۰۰۳).

• متوسط طول معابر (***LLM***): این شاخص از تقسیم مجموع طول معابر شبکه بر تعداد آن‌ها محاسبه می‌شود. با توجه به تعریف رأس به‌عنوان نقطه‌ای از شبکه که تغییر جهت حرکت در آن ممکن می‌شود، در عمل، این بن‌بست‌ها و بلوک‌ها هستند که موجب ایجاد معبر می‌شوند و ازاین‌رو در واحد سطح ثابت، هرچه تعداد معابر بن‌بست یا بلوک‌ها بیشتر باشد مقادیر کمتری از این شاخص حاصل می‌شود؛ علاوه بر آن، وجود انحنا و شکست‌های متوالی در امتداد یک معبر که عموماً در محدوده‌های دارای بافت انداموارە وجود دارد نیز می‌تواند افزایش متوسط طول معبر را نتیجه دهد (فورسیث، هرست و همکاران، ۲۰۰۸).

مقایسه الگوی شبکه معابر در محدوده‌های مطالعاتی از طریق نمودارهایی موسوم به ترپلات انجام می‌شود. تری پلات، نموداری با سه محور مندرجِ متلاقی –هر محور متناظر با یک متغیر – است که انتهای هر محور، آغاز محور بعد به‌صورت ساعت‌گرد است (مارشال، ۲۰۰۵: ۱۰۰) و موقعیت هر مشاهده در این نمودار، از محل تلاقی مقادیرِ استانداردشده نسبی برای هر متغیر به دست می‌آید (شکل ۴ و ۵). به این منظور، مقادیر به‌دست‌آمده برای هر دسته از شاخص‌ها (جداول ۳ تا ۵) به کمک رابطه $Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} + 2$ در بازه ۰ تا ۴ استانداردشده ($\sigma = 1$ و $\mu = 2$) و سپس مقادیر نسبی آن‌ها جهت ترسیم بر روی نمودارتری پلات محاسبه‌شده؛ در ادامه، این محاسبات به‌طور مثال برای سه شاخص متریک ارائه‌شده، این محاسبات برای شاخص‌های پیکره‌بندی و ریخت‌شناسی نیز به همین ترتیب تکرار می‌شود:

$$RLD = \frac{ZLD}{ZLD + ZVD + ZLLM}$$

$$RVD = \frac{ZVD}{ZLD + ZVD + ZLLM}$$

$$RLLM = \frac{ZMLL}{ZLD + ZVD + ZLLM}$$

به‌طوری‌که:

$$RLD + RVD + RLLM = 1$$

که در آن:

LD تراکم معبر، ZLD مقادیر استانداردشده آن و RLD تراکم معبر نسبی است؛

VD تراکم رئوس، ZVD مقادیر استانداردشده آن و RVD تراکم رئوس نسبی است؛

LLM متوسط طول معبر، $ZLLM$ مقادیر استانداردشده آن و $RLLM$ متوسط طول معبرِ نسبی است.

بحث و یافته‌ها

بحث در خصوص یافته‌های پژوهش در دو گام انجام و بر پایه آن جمع‌بندی و نتیجه نهایی پژوهش تدبیر گردیده است، در گام نخست تحلیل برونداد شاخص‌های معرفی‌شده در ابعاد سه‌گانه موردنظر پژوهش (یعنی پیکره‌بندی، ترکیب‌بندی و ساخت) انجام و در گام دیگر وجوه تشابه و تفاوت محله‌های منتخب برشمرده شده است.

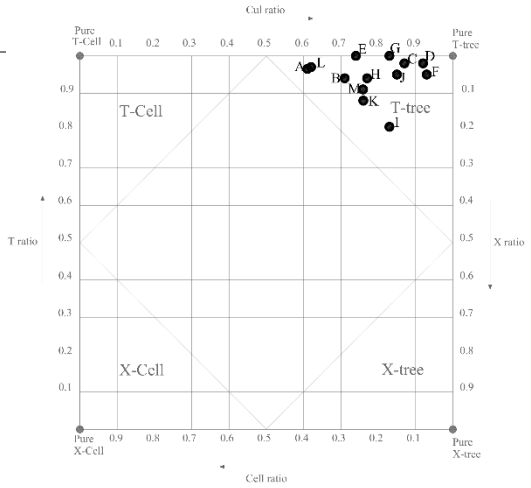
گام نخست- بحث: تحلیل شاخص‌ها

الف) پیکره‌بندی: شاخص‌های توپولوژیک

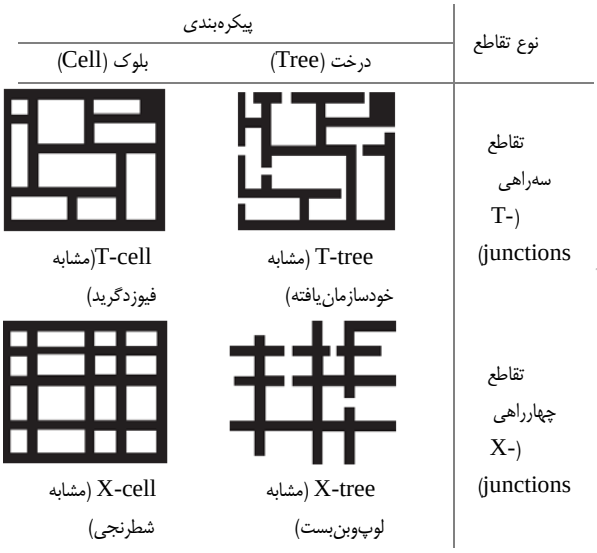
در جدول ۴ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های توپولوژیک الگوی شبکه معابر در محدوده‌های مطالعاتی ارائه‌شده و نمودار مربوط به شاخص‌های چهارگانه T-Ratio، X-Ratio، Cul-Ratio و Cell-Ratio در شکل ۵ الف ارائه‌شده است. بر اساس شکل ۵ الف، پراکنش مشاهدات در محدوده‌ای از نمودار اتفاق افتاده که در آن، سهم سه‌راهی‌ها در برابر چهارراهی زیاد و در مقابل، سهم بلوک‌ها در مقابل بن‌بست‌ها کم است. با استفاده از شکل ۵ ب، می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که الگوی پیکره‌بندی شبکه معابر در تمامی محدوده‌های خودسازمان‌یافته و ارگانیکِ موردمطالعه با یکدیگر مشابه و از نوع T-tree است اما با دیگر انواع پیکره‌بندی‌ها که در شبکه‌های کاملاً شطرنجی (X-cell)، شبه شطرنجی و لوپ و بن‌بست (X-tree) و فیوزدگرید (T-cell) مشاهده می‌شود بسیار متفاوت است. در کنار این مشابهت، محدوده‌های موردمطالعه دارای تفاوت‌هایی با یکدیگر هستند که توسط نمودارتری پلات سه شاخص بتا، گاما و میانگین درجه رئوس (DM) در شکل ۵ ج ارائه‌شده است. پراکنش مشاهدات در این نمودار عمدتاً حول محور $RB = RDM$ روی‌داده که با نقطه‌چین نشان داده‌شده و بدان معنا است که اولاً، در عمده محلات موردمطالعه به‌موازات افزایش شاخص نسبی بتا، میانگین نسبی درجه رئوس نیز با آهنگی مشابه افزایش می‌یابد و تنها محله امامزاده قاسم (A) به دلیل داشتن تقاطع‌های منتهی به معابرِ بن‌بازِ بیشتر، متفاوت است و در آن، به‌موازات افزایش شاخص نسبی بتا، شاخص نسبی میانگین درجه رئوس دو برابر بیشتر می‌شود؛ دوما، محدوده‌های موردمطالعه در طیفی پیوسته توزیع‌شده‌اند که یکسر آن محدوده‌هایی با شمار تقاطع‌های کم و بن‌بست‌های زیاد (نظیر J و K) و سر دیگر آن محدوده‌هایی با شمار تقاطع‌های نسبتاً زیاد و بن‌بست‌های کم (نظیر F و H) است.

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های توپولوژیک شبکه معابر در محدوده‌های مطالعاتی

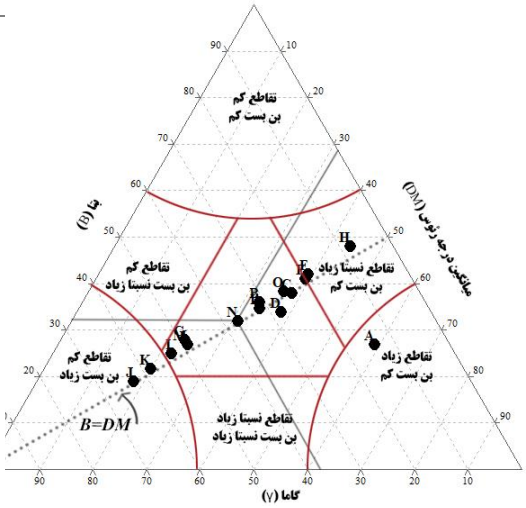
شاخص/ محله	A امامزاده قاسم	B زرگنده	C دارآباد	D کن	E درند	F حصارک	G طرشت	H فرحزاد	I جماران	J ازگل	K دانشپیب	L درکه	M باغ فیض	N چیذر	O اختیاریه
α	۳۵۷۰	۱۴۸۵	۲۱۴۵	۴۳۷۱	۱۷۷۰	۱۸۹۱	۹۴۶	۶۶۷۰	۷۸۰	۶۶۶	۴۳۵	۱۱۷۶	۷۰۳	۱۳۷۸	۱۵۹۶
β	۱/۰۹	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۰۲	۱/۳۰	۱/۳۲	۱/۰۹	۱/۱۱	۱/۰۸	۱/۰۵	۱/۱۰	۱/۱۸	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۲۱
γ	۰/۰۲۶	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۳	۰/۰۵۱	۰/۰۱۹	۰/۰۵۵	۰/۰۵۹	۰/۰۷۶	۰/۰۴۹	۰/۰۶۰	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳
DM	۲/۴۹	۲/۲۹	۲/۳۲	۲/۰۷	۲/۶۰	۲/۶۳	۲/۱۶	۲/۲۲	۲/۱۵	۲/۱۱	۲/۲۰	۲/۳۷	۲/۲۱	۲/۲۳	۲/۴۲
T-ratio	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۲
X-ratio	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۸
cell-ratio	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۴۲
cul-ratio	۰/۶۱	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۹۲	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۵۸



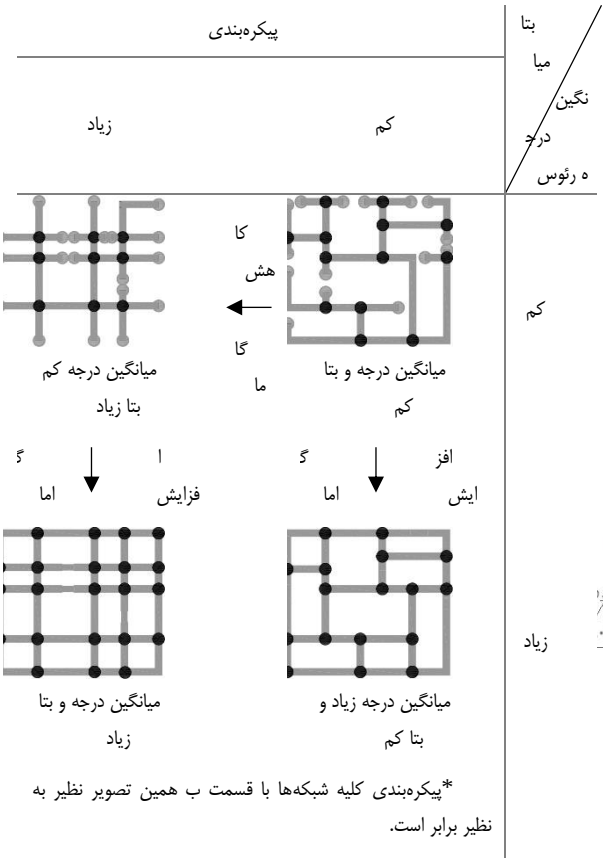
الف) پراکنش محدوده‌های موردمطالعه در نسبت با شاخص‌های توپولوژیک تقاطع‌ها



ب: چهار نوع پیکره‌بندی تقاطع‌ها. منبع: (مارشال، ۲۰۰۵: ۹۷)



ج: پراکنش محدوده‌های موردمطالعه در نسبت با شاخص‌های توپولوژیک رئوس



*پیکره‌بندی کلیه شبکه‌ها با قسمت ب همین تصویر نظیر به نظیر برابر است.

د: چهار نوع پیکره‌بندی رئوس

شکل ۵. مقایسه محدوده‌های موردمطالعه از منظر شاخص‌های پیکره‌بندی/ توپولوژیک

ب) ترکیب‌بندی: شاخص‌های ریخت‌شناسی یا هندسی

در جدول ۵ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های ریخت‌شناسی الگوی شبکه معابر در محدوده‌های مطالعاتی و در شکل ۵ الف نمودارتری پلات سه شاخص متوسط نسبی ضریب شکل بلوک ((ShF(n))، متوسط نسبی مساحت بلوک‌ها (CellAM) و متوسط نسبی طول معبر در هر هکتار (LLMH) ارائه‌شده است. بر اساس این شکل، پراکنش مشاهدات

عمدتاً حول محور $ShF(n) = CellAM$ روی‌داده که با نقطه‌چین نشان داده‌شده و بدان معنا است که اولاً، در عمده محلات موردمطالعه، به‌موازات افزایش شاخص نسبی متوسط ضریب‌شکل بلوک‌ها، متوسط نسبی مساحت بلوک‌ها نیز با آهنگی نسبتاً مشابه افزایش می‌یابد زیرا یکی از تفاوت‌های قابل‌توجه اغلب محدوده‌های خودسازمان‌یافته در برابر انواع محدوده‌های از پیش طراحی‌شده، تعدد معابر بن‌بست است به‌طوری‌که افزایش شمار معابر بن‌بست به بزرگ‌تر شدن بلوک‌های شهری و افزایش نسبت محیط به مساحت آن‌ها می‌انجامد. دوم، محدوده‌های موردمطالعه در طیفی پیوسته توزیع‌شده‌اند که یکسر آن محدوده‌هایی با بلوک‌های کوچک و ساده (نظیر E، A و F) و سر دیگر آن محدوده‌هایی با بلوک‌های نسبتاً بزرگ و مضرس[1] (نظیر J، K و G) است و ریخت‌شناسی آن‌ها نظیر آنچه در شکل ۵ ب، ارائه‌شده قابل‌طبقه‌بندی است. بر اساس آن، تبدیل بلوک‌های بزرگ ساده (I) به بلوک‌های کوچک ساده (II) از طریق افزایش شمار معابر بن‌باز روی می‌دهد و نتیجه آن، افزایش متوسط طول معبر در هر هکتار است؛ حال چنانچه این معابر از نوع بن‌بست باشند، اگرچه بازهم متوسط طول معبر در هر هکتار افزایش می‌یابد، اما بلوک‌ها همچنان بزرگ باقی می‌مانند و از حالت ساده به حالت مضرس تبدیل می‌شوند (III) که نتیجه آن افزایش شاخص متوسط ضریب شکل بلوک‌ها است. گفتنی است که بلوک‌های کوچک و مضرس (IV) به سبب آن‌که حداقل مساحت قطعات از آستانه‌های مشخصی نمی‌تواند کمتر شود، اگرچه بر روی شکل ۵ ب نشان داده‌شده و بر روی نمودار ۵ الف نیز محدوده‌ای به آن اختصاص‌یافته، در عمل نمی‌توانند وجود داشته باشند.

جدول ۵. مقادیر شاخص‌های ریخت‌شناسی شبکه معابر محدوده‌های مطالعاتی

محله	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	امامزاده قاسم	زرگنده	دارآباد	کن	دربند	حصارک	طرشت	فرحزاد	جماران	ازگل	دزاشیب	دره	باغ فیض	چیذر	اختیاریه
$ShF\ (N)$	۳۳/۳	۳۸/۱	۲۹/۱	۹۵/۸	۲۱/۷	۲۰/۸	۳۶/۴	۵۰/۱	۵۲/۷	۵۷/۴	۳۹/۱	۳۴/۵	۴۹/۱	۳۶/۸	۲۸/۵
LLMH	۴۷۳	۳۸۷	۳۸۹	۳۹۸	۴۰۷	۴۲۳	۲۸۸	۵۳۱	۳۶۳	۲۹۱	۲۹۹	۴۱۷	۳۸۲	۳۲۸	۳۸۹
CellAM	۳۰۹۱	۶۲۹	۵۰۲	۱۵۱۷	۳۰۶	۲۷۹	۱۳۴۹	۳۷۷	۱۳۰۰	۱۹۹۹	۱۴۴۲	۴۵۶	۸۸۹	۸۸۳	۴۲۳
		۱	۹	۳	۵	۵	۹	۴	۷	۰	۱	۹	۶	۳	۳

ج) ساخت: شاخص‌های متریک

در جدول ۶ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های متریک الگوی شبکه معابر در محدوده‌های مطالعاتی و در شکل ۶ الف نمودارتری پلات سه شاخص تراکم نسبی معبر (LD)، متوسط نسبی طول معبر (LLM) و تراکم نسبی رئوس (VD) ارائه‌شده است. بر اساس این شکل، پراکنش مشاهدات عمدتاً حول محور $LD = VD$ روی‌داده که با نقطه‌چین نشان داده‌شده و بدان معنا است که اولاً، در عمده محلات موردمطالعه، به‌موازات افزایش شاخص نسبی تراکم رئوس، تراکم نسبی معابر نیز با آهنگی نسبتاً مشابه افزایش می‌یابد زیرا به ازای افزایش یک رأس، برای آن‌که شبکه همچنان متصل[2] بماند، نیاز است تا دست‌کم یک یال به آن اضافه شود. دوم، محدوده‌های موردمطالعه در طیفی پیوسته توزیع‌شده‌اند که یکسر آن محدوده‌هایی با معابر پراکنده و بلند (نظیر K و J) و سر دیگر آن محدوده‌هایی با معابر نسبتاً متراکم و کوتاه (نظیر H، D، A و C) است و ویژگی‌های متریک آن‌ها نظیر آنچه در شکل ۶ ب ارائه‌شده، قابل‌طبقه‌بندی است. بر اساس آن، محدوده‌های دارای معابر پراکنده و بلند (I) از طریق افزایش شمار معابر مستقیم و کوتاه به محدوده‌های

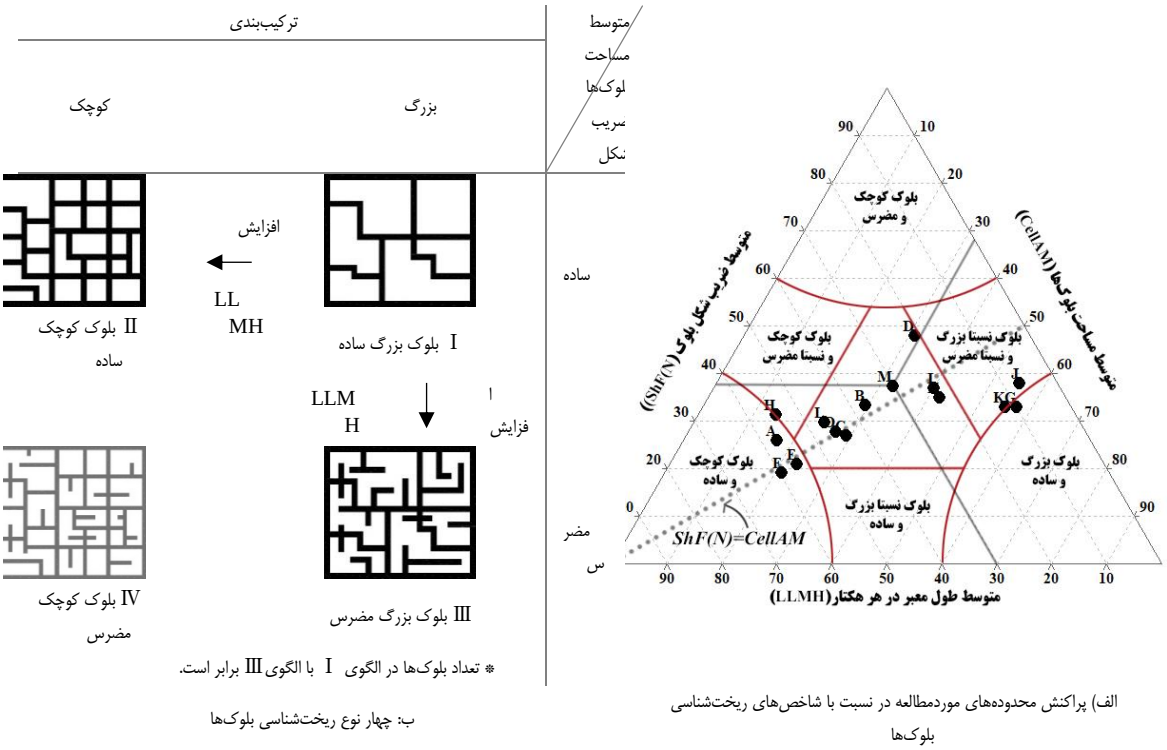
۱- مضرس در لغت به معنای منقوش به نقش و نگارهایی به‌صورت دندانه است اما در این مطالعه به بلوک‌هایی گفته می‌شود که به دلیل تعدد وجود معابر بن‌بست، محیط آن‌ها دارای فرورفتگی‌های طولانی و باریک باشد.

۲- یک شبکه متصل خوانده می‌شود اگر هر جفت از رئوس آن به‌وسیله یک مسیر به یکدیگر متصل باشند.

دارای معابر متراکم و کوتاه (III) تبدیل می‌شوند و نتیجه آن افزایش تراکم رئوس در واحد سطح است؛ حال چنانچه این معابر، غیرمستقیم، پرانحنا و بلند (II) باشند، اگرچه همچنان هم تراکم معبر در واحد سطح افزایش می‌یابد، اما متوسط طول معابر نسبت به الگوی III بیشتر می‌شود.

جدول ۶. مقادیر شاخص‌های متریک شبکه معابر محدوده‌های مطالعاتی

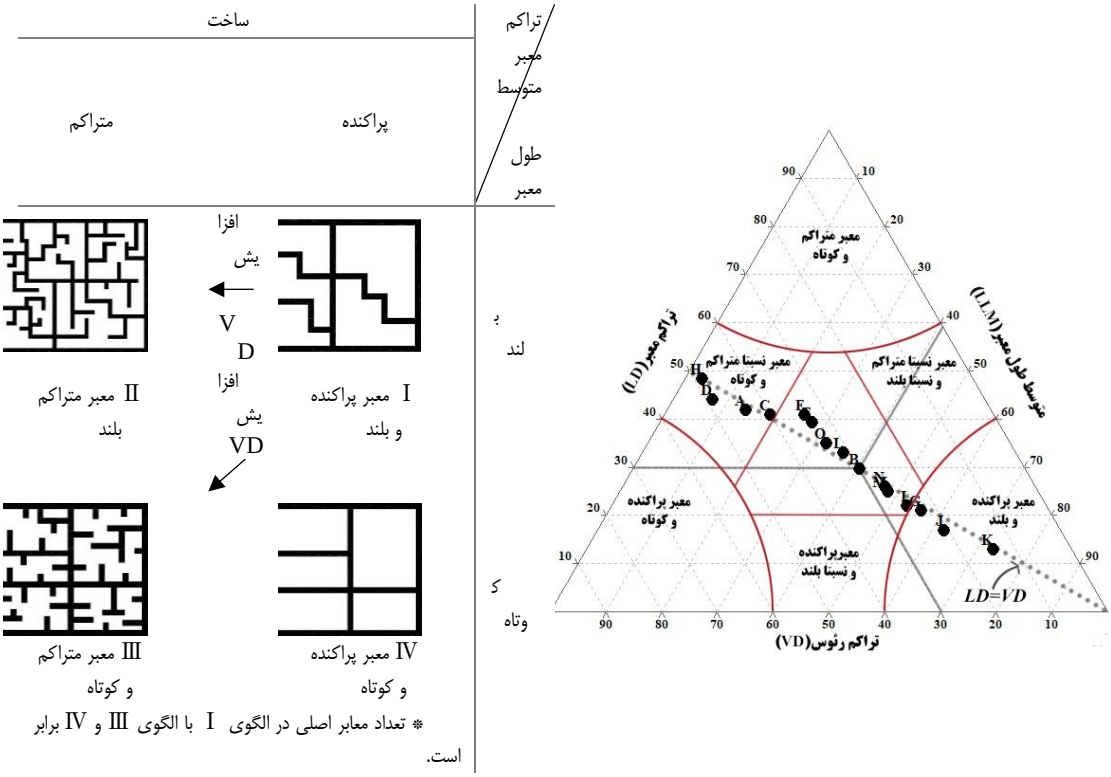
محله	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	امامزاده قاسم	زرگنده	دارآباد	کن	دربند	حصارک	طرشت	فرحزاد	جماران	ازگل	دزاشیب	دره	باغ فیض	چیذر	اختیاریه
LD	۱۲/۵۷	۷/۷۳	۱۰/۱۷	۱۲/۴۶	۹/۵۴	۱۰/۰۷	۵/۳۷	۱۷/۴۳	۶/۳۶	۴/۹۱	۴/۴۶	۸/۵۸	۷/۰۰	۶/۴۹	۸/۶۵
VD	۱۱/۵	۶/۷	۸/۸	۱۲/۲	۷/۳	۷/۶	۴/۹	۱۵/۷	۵/۹	۴/۸	۴/۱	۷/۲	۶/۳	۵/۸	۷/۱
LLM	۳۷/۶	۵۰/۰	۳۸/۳	۳۲/۰	۴۲/۷	۴۲/۰	۵۳/۷	۳۰/۵	۵۷/۱	۵۸/۰	۶۷/۱	۴۸/۵	۵۴/۶	۵۰/۶	۴۴/۹



الف) پراکنش محدوده‌های موردمطالعه در نسبت با شاخص‌های ریخت‌شناسی بلوک‌ها

ب: چهار نوع ریخت‌شناسی بلوک‌ها

شکل ۵. مقایسه محدوده‌های موردمطالعه از منظر شاخص‌های ریخت‌شناسی/ هندسی



الف) پراکنش محدوده‌های موردمطالعه در نسبت با شاخص‌های متریک معابر

ب: چهار نوع هندسه معابر

شکل ۶. مقایسه محدوده‌های موردمطالعه از منظر شاخص‌های ساخت/ متریک

گام دوم- یافته‌ها: تحلیل مقایسه‌ای محله‌های منتخب

الف- تشابه‌ها: نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل شاخص‌های توپولوژیک نشان داد نه‌تنها الگوی پیکره‌بندی شبکه معابر در تمامی محدوده‌های خودسازمان‌یافته و ارگانیکِ موردمطالعه با یکدیگر مشابه و از نوع T-tree است بلکه در عمده آن‌ها، به‌موازات افزایش شمار معابر، میانگین نسبی درجه رئوس (RDM) نیز با آهنگی مشابه افزایش می‌یابد؛ این در حالی است که به‌طور مثال، در الگوهای کاملاً شطرنجی به ازای افزایش یک رأس، ۴ معبر به شبکه اضافه می‌شود و بنابراین آهنگ افزایش ضریب بتا (β) به میانگین درجه رئوس (DM) بسیار بیشتر از آن چیزی است که در مورد الگوهای خودسازمان‌یافته مشاهده شد. علاوه بر ویژگی‌های پیکره‌بندی، در الگوی ترکیب‌بندی شبکه معابر این محدوده‌ها نیز مشابهت‌هایی وجود دارد از آن جمله که در عمده آن‌ها، درنتیجه وجود معابر بن‌بست و نفوذناپذیر، به‌موازات افزایش محیط بلوک‌های شهری متوسط مساحت بلوک‌ها نیز با آهنگی تقریباً مشابه افزایش می‌یابد؛ این در حالی است که به‌طور مثال، در محدوده‌های دارای کاربری‌های عموماً مسکونی و الگوی معابر شطرنجی، نسبت متوسط ضریب شکل بلوک‌ها (ShF(n)) به متوسط مساحت بلوک‌ها (CellAM) عدد تقریباً ثابتی است. علاوه بر ویژگی‌های ترکیب‌بندی، الگوی ساخت شبکه معابر در محدوده‌های خودسازمان‌یافته نیز مشابه یکدیگر است به‌طوری‌که در همه آن‌ها، نسبت تراکم رئوس به تراکم معابر در واحد سطح با آهنگی نسبتاً مشابه افزایش می‌یابد زیرا به ازای افزایش یک رأس در حدود یک معبر یا کمی بیشتر به آن اضافه می‌شود؛ این در حالی است که به‌طور مثال در الگوهای کاملاً فیوزدگرید، به ازای افزایش یک رأس، ۳ معبر به آن اضافه می‌شود و نسبت یادشده در حدود ۳ برابر رقم متناظر آن در الگوهای خودسازمان‌یافته است.

ب- تفاوت‌ها: باوجود مشابهت‌های متعددی که نام‌برده شد، در میان همین محدوده‌ها تمایزاتی نیز ردیابی شد از آن

جمله که از منظر شاخص‌های پیکره‌بندی، در برخی از محدوده‌های خودسازمان‌یافته (نظیر J و K)، شمار تقاطع‌ها کم و بن‌بست‌ها زیاد و در برخی دیگر (نظیر F و H) شمار تقاطع‌ها نسبتاً زیاد و بن‌بست‌ها کم‌تر است. از منظر شاخص‌های ترکیب‌بندی نیز اختلافاتی میان محدوده‌ها قابل برشماری است از آن جمله که برخی محدوده‌ها (نظیر E، A و F) دارای بلوک‌های کوچک و ساده و برخی دیگر (نظیر J، K و G) دارای بلوک‌های نسبتاً بزرگ و مضرس هستند. از منظر شاخص‌های متریک نیز برخی محدوده‌ها (نظیر K و J) متشکل از معابر پراکنده و بلند و برخی دیگر (نظیر H، D، A و C) متشکل از معابر نسبتاً متراکم و کوتاه هستند. به‌منظور درک بهتر این تفاوت‌ها، در جدول ۷ موقعیت قرارگیری هر یک از محدوده‌ها در نمودارهای تری پلات ترسیم‌شده برای هر سه وجه پیکره‌بندی، ترکیب‌بندی و ساخت تلاقی داده‌شده و بر اساس آن، ۱۵ محدوده موردمطالعه در سه دسته به شرح زیر طبقه‌بندی گردید:

– دسته نخست: متشکل از بلوک‌های نسبتاً بزرگ و مضرس با معابر پراکنده و بلند و تقاطع‌های کم و بن‌بست‌های زیاد، شامل دو محدوده ازگل (J) و دزاشیب (K)

– دسته دوم: متشکل از بلوک‌های کوچک و ساده با معابر نسبتاً متراکم و کوتاه و تقاطع‌های زیاد و بن‌بست‌های کم، شامل دو محدوده امامزاده قاسم (A) و فرحزاد (H)

– و دسته سوم متشکل از سایر محلات است که دارای ترکیبی از بلوک‌های ساده و مضرس با اندازه متوسط و شماری معابر بن‌بست و بن‌باز هستند.

جدول ۷. گونه‌بندی الگوی شبکه معابر در محدوده‌های موردمطالعه

ترکیب‌بندی / پیکره‌بندی	بلوک کوچک ساده	بلوک نسبتابزرگ نسبتاً مضرس
تقاطع کم بن‌بست زیاد		J,K
تقاطع نسبتاً زیاد بن‌بست کم	H,E ,F	
تقاطع زیاد بن‌بست کم	A	

ساخت / پیکره‌بندی	معبر پراکنده بلند	معبر نسبتاً متراکم کوتاه
تقاطع کم بن‌بست زیاد	J,K	
تقاطع نسبتازیاد بن‌بست کم		H
تقاطع زیاد بن‌بست کم		A

ترکیب‌بندی / ساخت	بلوک کوچک ساده	بلوک‌نسبتاً بزرگ نسبتاً مضرس
معبر پراکنده بلند		J,K,G
معبر نسبتامتراکم کوتاه	A,H	

نتیجه‌گیری

این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این پرسش انجام پذیرفته که الگوهای خودسازمان‌یافته شبکه معابر در یک محدوده جغرافیایی مشخص که بدون هیچ طرح از پیش اندیشیده شده‌ای طی زمان به وجود آمده‌اند، تا چه اندازه شبیه یکدیگرند و چه تفاوت‌هایی میان آن‌ها وجود دارد. پاسخگویی به این پرسش از طریق ارائه چارچوبی تحلیلی با معرفی سه بُعد ۱) پیکره‌بندی، ۲) ترکیب‌بندی و ۳) ساخت که به‌این‌ترتیب با سه دسته شاخص‌های ۱) توپولوژیک، ۲) ریخت‌شناسی یا هندسی و ۳) متریک متناظرند، محقق شده است. این سه شاخص وجوه مختلفی از الگوهای شبکه معابر را هدف قرار می‌دهند و امکان بازشناسی شباهت‌ها و تفاوت‌های میان آن‌ها را به شیوه‌ای روش‌مند فراهم می‌آورند. با توجه به این‌که این پژوهش ازنظر روش، توصیفی و متکی بر مطالعه موردی است، ۱۵ محدوده مطالعاتی در شهر تهران که می‌توانستند الگوی خودسازمان‌یافته شبکه معابر را نمایندگی کنند، با رعایت شروطی انتخاب شدند و مقادیر هریک از شاخص‌های نامبرده، در سطح محدوده‌های مطالعاتی موردمحاسبه قرار گرفت. این مقادیر، با کمک روش تحلیل‌تری

پلات با یکدیگر مقایسه و شباهت‌ها و تفاوت‌های میان الگوهای مختلف شبکه معابر ردیابی و ارائه شد. بر پایه این مقایسه این نتیجه حاصل شد که الگوی شبکه معابر در محدوده‌های خودسازمان‌یافته که به‌دوراز هماهنگی با یکدیگر و بدون هیچ طرح از پیش اندیشیده شده‌ای متأثر از تعداد بی‌شماری از عوامل در طول زمان به‌طور تدریجی به وجود آمده‌اند، بسیار مشابه یکدیگرند و قواعد مشترکی میان آن‌ها قابل‌ردیابی است. این یافته، با نتیجه‌ای که بوهل و همکارانش از مقایسه ویژگی‌های توپولوژیک شبکه معابر در ۴۱ محدوده مطالعاتیِ خودسازمان‌یافته، واقع در شهرهای مختلفی از قاره اروپا، امریکای مرکزی و شبه‌قاره هند به دست آوردند و به وجود ساختاری درخت مانند[1] با ویژگی‌های شبکه‌ای مشابه در آن‌ها پی بردند، بسیار نزدیک است (بوهل و همکاران، ۲۰۰۶). پس از آنان، استرانو و همکارانش نیز در مطالعه دیگری به مقایسه تطبیقی ویژگی‌های هندسی و شاخص‌های مرکزیت شبکه در ده شهر اروپایی مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شهرها، به دلیل محدودیت‌های فضایی ناشی از اتصال تعداد معدودی از معابر به یکدیگر، شباهت‌های ساختاری زیادی با هم دارند اما در ویژگی‌های هندسی شبکه معابر متأثر از وجود یا نبود محدودیت‌های جغرافیایی، تمایزاتی نیز میان آن‌ها قابل‌ردیابی است (استرانو و همکاران، ۲۰۱۳). آنان نشان دادند که شهرهای موردمطالعه در ویژگی‌هایی نظیر میانگین طول معابر (***LLM***) یا رابطه میان مجموعِ طولِ معابرِ بن‌بست به مساحت محدوده، بسیار مشابه هم عمل می‌کنند، بااین‌حال چگونگی توزیع طول شبکه معابر در واحد سطح یا انواع شاخص‌های مرکزیت شبکه، انعکاس‌دهنده تنوع تاریخی و شرایط محلی نظیر وجود عوارض طبیعی چون رودخانه یا ویژگی‌های ارتفاعی زمین است که می‌تواند الگوهای شبکه معابر را از یکدیگر متمایز کند (استرانو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۰۸۴). حضور این قواعد مشترک و مشابهت‌های ردیابی شده در تمامی این مطالعات، اتفاقی نیست بلکه از نظم پیچیده و شگفت‌آوری حکایت دارد که قانونی از ضمایم ترجیحی را در شرایط متفاوت محیطی به نمایش می‌گذارد. این الگوهای ناخودآگاه محصول فرآیندی پویا است که در آن، مهارتی تجربی به‌طور تدریجی از طریق انتقال و تکرار به بلوغ می‌رسد و ساختاری خودسازمان‌ده را نتیجه می‌دهد که تعامل فرم و زمینه را به‌طور تدریجی و پیوسته تنظیم می‌کند. این تعامل، الگویی از شبکه معابر را به وجود می‌آورد که در محدوده‌های جغرافیایی متفاوت، نظم مشابهی را به نمایش می‌گذارد.

در انتها و به‌عنوان پیشنهادی برای ادامه این زمینه موضوعی، مطالعه سه وجه پیکره‌بندی، ترکیب‌بندی و ساخت در انواع دیگر الگوهای شبکه معابر و مقایسه تطبیقی نتایج به‌دست‌آمده در محدوده‌هایی با شرایط اقلیمی و اجتماعی–فرهنگی متفاوت با استفاده از چارچوب تحلیلی ارائه‌شده در این پژوهش (که به دلیل محدودیت در دسترسی به اطلاعات کنار گذارده شده‌اند) در راستای تکمیل نتایج این مطالعه می‌تواند مفید باشد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

۱) ایزدی، محمد سعید و شریفی، عادل. (۱۳۹۴). ارزیابی طرح کارل فریش بر پیکربندی ساختار فضایی بافت قدیمی شهر همدان (با استفاده از تکنیک چیدمان فضا). باغ نظر، ۱۲(۳۵)، ۱۵–۲۶.

۲) بحرینی، سیدحسین و تقابن، سوده. (۱۳۹۰). آزمون کاربرد روش چیدمان فضا در طراحی فضاهای سنتی شهری. نشریه هنرهای زیبا–معماری و شهرسازی، ۳(۴)، ۵–۱۸.

1- tree-like structure

۳) دانشپور، عبدالهادی و مرادی، سلمان. (۱۳۹۱). تبیین روش ریخت‌گونه بندی و کاربرد آن در طراحی شهری. نامه معماری و شهرسازی، ۵(۹)، ۶۵-۸۶.

۴) عباس‌زادگان، مصطفی. (۱۳۸۱). روش چیدمان فضا در فرایند طراحی شهری با نگاهی به شهر یزد. مدیریت شهری، ۹، ۶۴-۷۵.

۵) میرمقتدایی، مهتا. (۱۳۸۵). طراحی شهری: روشی برای انتخاب محدوده مطالعات گونه شناسی بافت شهری در کلان‌شهرها نمونه موردی تهران. فصلنامه مسکن و انقلاب، ۱۳، ۱۴-۲۷.

6) Barabási, A.-L. (2002). The new science of networks. Cambridge MA. Perseus.

7) Batty, M., & Rana, S. (2002). Reformulating space syntax: the automatic definition and generation of axial lines and axial maps. Centre for Advanced Spatial Analysis Working Paper, 58.

8) Boeing, G. (2020a). A multi-scale analysis of 27,000 urban street networks: Every US city, town, urbanized area, and Zillow neighborhood. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 47(4), 590-608.

9) Boeing, G. (2020b). Urban street network analysis in a computational notebook. arXiv preprint arXiv:2001.06505.

10) Buhl, J., Gautrais, N., Reeves, R.V., Sol´, e.S., Valverde, P., & Kuntz, G. Theraulaz, (2006). Topological Patterns in Street Networks of Self- organized Urban Settelments. Eur. Phys. J. B 49, 513-522.

11) Crucitti, P., Latora, V., & Porta, S. (2006). "Centrality measures in spatial networks of urban streets". Physical Review E, 73, 036125.

12) Gastner, M. T., & Newman, M E J. (2004). "The spatial structure of networks"', http://arxiv.org/abs/ cord mat/0407680

13) Haggett, P., & Chorley, R. (1969). "Network analysis in Geography". London, U.K: Edward Arnold.

14) Hess, P. (1997). "Measures of Connectivity - Comparison of pedestrian environments in Seattle and Bellevue suburbs" Washington Places (Cambridge, Mass), 11, 58–65.

15) Hillier B., & Hanson J. (1984). "The Social Logic of Space", Cambridge University Press: Cambridge.

16) Jacobs J., (1961). "The death and life of great American cities". New York, NY: Vintage.

17) Jiang B. and Claramunt C. (2002), "Integration of Space Syntax into GIS: New Perspectives for Urban Morphology", Transactions in GIS, Vol. 6, no. 3, pp. 295-309.

18) Jiang B, Claramunt C, (2004), "A structural approach to the model generalization of an urban
street network" GeoInformatica 8 157 – 171.

19) Jiang B, Claramunt C, (2004b), "Topological analysis of urban street networks" Environment and Planning B: Planning and Design 31 151 – 162.

20) Kansky, K. (1963). "Structure of Transportation Networks: Relationships between Network Geometry and Regional Characteristics". Ph. D. thesis, University of Chicago. Research Paper No. 84.

21) Kissling, C. (1969). "Linkage Importance in a Regional Highway Network". The Canadian Geographer 13(2), 113–127.

22) Li, Y. & Tsukaguchi, H. (2005). "Relationships between Network Topology and Pedestrian Route Choice Behavior". Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 241 – 248.

23) Li, S. and Y. Shum (2001). "Impacts of the National Trunk Highway System on accessibility in China". Journal of Transport Geography 9(1), 39–48.

24) Maniadakis, D., & Varoutas, D. (2015). Incorporating Gabriel graph model for FTTx

dimensioning. Photonic Network Communications, 29(2), 214-226.
25) Marshall, S. (2005). Streets and patterns. London: Spon Press.
26) Parthasarathi, P., & Levinson, D. (2012). “Network structure and Spatial Separation”. Environment and Planning B: Planning and Design 2012, 39, 137 – 154.
27) Parthasarathi, P. (2014). “Network structure and metropolitan mobility”. The journal of transport and land use, 7 (2), 153-170.
28) Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V., (2006a). The network analysis of urban streets: a primal approach. Environment and Planning B: Planning and Design, 33, 705-725.
29) Porta, S., Crucitti. P., & Latora, V., (2006b). “The network analysis of urban streets: a dual approach. Physica A Statistical Mechanics and its Applications, 369, 853–866
30) Strano, E., Viana, M., L da Fontoura Costa., A Cardillo, S., & Porta, V Latora. (2013). “Urban Street Networks, a Comparative Analysis of Ten European Cities”. Environment and Planning B: Planning and Design 2013, 40, 1071–1086.
31) Thomson, R. C. (2004). "Bending the axial line: smoothly continuous road centre-line segments as a basis for road network analysis", in Proceedings 4th International Space Syntax Symposium London, http://www.spacesyntax.net/SSS4
32) Xie, F. & Levinson, D. (2007). “Measuring the structure of road networks”. Geographical Analysis, 39(3), 336–356.
33) ZAKERHAGHIGHI, K., MAJEDI, H., & HABIB, F. (2010). Identifying effective indicators for typology of urban fabrics.
34) Forsyth, A., & Hearst, M. (2008). "Design and Destinations: Factors Influencing Walking and Total Phyiscal Activity." Urban Studies, 45(9): 1973-1996.
35) Song, Y., & Knaap, G.-J. (2003). "New urbanism and housing values: a disaggregate assessment. Journal of Urban Economics, 54, 218–238.